

การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติของเชิงลาดด้วยวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และแนวทางการปรับปรุงการแก้ไข : กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1270

ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม.21+000

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

สุประชา คามะนา (Supracha Kamana)* ดร.พงศกร พวงชมพู (Dr.Pongsagorn Pongchompu)^{1**}

(Received: August 10, 2020; Revised: October 7, 2020; Accepted: October 9, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาสาเหตุของการวิบัติของลาดดินคันทางจากอัตราส่วนความปลอดภัยของเชิงลาดในทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ จังหวัดเชียงใหม่โดยประยุกต์ใช้การคำนวณทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค 2 แบบที่ต่างกัน คือ วิธีสมมูลจำกัด (Limit Equilibrium Method) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ผลการศึกษาพบว่าวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.935 และ 0.960 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการวิบัติของเชิงลาดนั้นคือน้ำที่ไหลลงจากคันทางสู่เชิงลาดที่ไม่มีการป้องกันทำให้เกิดการกัดเซาะซึ่งเริ่มต้นที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) และค่อยๆลุกลามเข้าไปสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง

ABSTRACT

This research aimed to investigate a failure of highway embankment No.1270, Kong Loi - Mae Hae Tai, Chiang Mai Province. It applied two different geotechnical engineering methods, limit equilibrium method and finite element method. The results showed that limit equilibrium method and finite element method obtained the R^2 values of 0.935 and 0.960, respectively which are similar. The main factor affecting a slope failure is the water flowing from the embankment and to the unprotected slope. This causes an erosion that begins at the toe slope and gradually progresses to the main structure up to the pavement layer.

คำสำคัญ: การวิบัติของเชิงลาด วิธีสมมูลจำกัด วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Keywords: Slope Failure, Limit Equilibrium Method, Finite Element Method

¹ Corresponding author: ppoungchompu@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

บทนำ

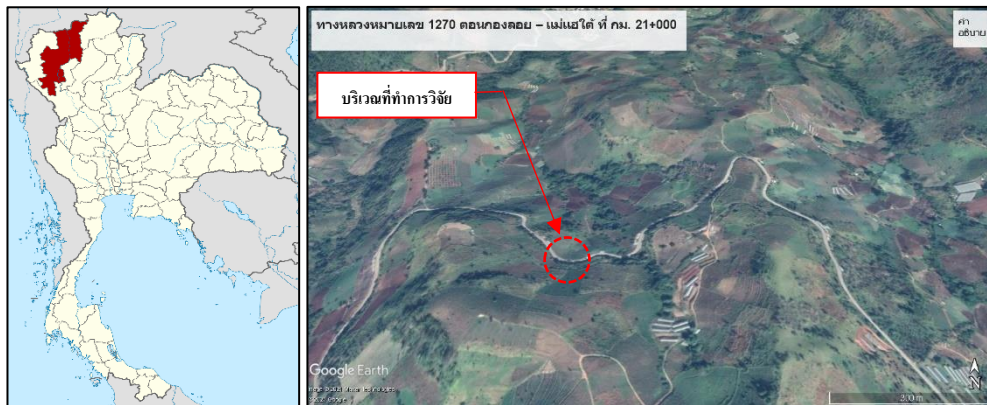
ทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ซึ่งเป็นถนนที่เชื่อมระหว่างอำเภอฮอดกับอำเภอแม่ลาน้อย ของจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีปริมาณจราจรเฉลี่ย 847 คัน/วัน ซึ่งลักษณะทางกายภาพของถนนนั้นมีลักษณะเป็นทางคดโค้งที่ตัดผ่านตามลาดเชิงเขาเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งไหล่ทางเป็นหน้าผาที่ค่อนข้างสูงชัน ทำให้พบปัญหาเกี่ยวกับการวิบัติของเชิงลาดบ่อยครั้งในช่วงฤดูฝน โดยปัจจัยที่ส่งผลอย่างเห็นได้ชัดเช่น ยกตัวอย่างเช่น มีฝนตกชุกหนาแน่น คุณสมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลงสถานะหรืออาจจะมีหลายๆปัจจัยเป็นตัวกระตุ้น เป็นต้น ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและหาสาเหตุถึงการขบวนการที่ทำให้โครงสร้างดินของเชิงลาดคันทางเกิดการวิบัติและสูญเสียเสถียรภาพ โดยเป็นการประยุกต์ใช้การคำนวณทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค 2 แบบที่ต่างกัน คือ วิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อนำมาหาแนวทางการป้องกันและแก้ไขให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ต่อไป

สำหรับพฤติกรรมของดินเป็นพฤติกรรมที่ค่อนข้างมีความสลับซับซ้อน โดยในแต่ละระดับความลึกอาจจะมีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งทำให้การวิเคราะห์เสถียรภาพของดินก็มีความซับซ้อนขึ้นไปด้วย ดังนั้น การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันนั้น โดยส่วนใหญ่จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method) คือ วิธีการคำนวณตามทฤษฎี Method of Slices เช่น วิธี Bishop [1] วิธี Janbu [2] เป็นต้น เป็นวิธีที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัดจะให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของความลาดชันและแนวของการเคลื่อนพังของเชิงลาดเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดเพิ่มเติม โดย Whitman and Bailey [3] เสนอทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เข้ามาประยุกต์ใช้ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยที่ไฟไนต์เอลิเมนต์จะวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนที่ของเชิงลาดที่มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และพบว่าการพังทลายของเชิงลาดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นมีความสอดคล้องกับธรรมชาติ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจอีกทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีข้อจำกัดในเรื่องของค่าพารามิเตอร์ของดินต่างๆ ที่ต้องนำมาใช้นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่หาได้ยากจากผลการทดลอง รวมถึงแบบจำลองของกำลังรับแรงเฉือนของเชิงลาด อาจมีความแตกต่างจากวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัด

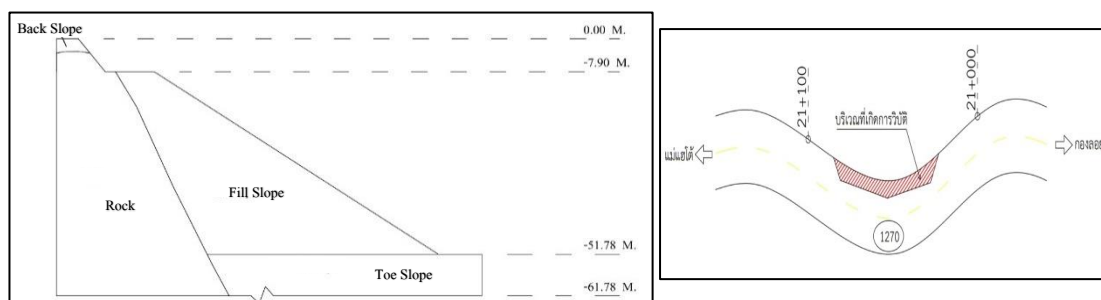
พิทักษ์ชน [4] ได้สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินระหว่างวิธีสมดุลจำกัด และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความเหมาะสมผลกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัด รวมทั้งผลที่ออกมาแสดงให้เห็นว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่ต่ำกว่าวิธีสมดุลจำกัดอยู่เล็กน้อย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาหาสาเหตุของการวิบัติของโครงสร้างเชิงลาดที่เกิดความเสียหาย บริเวณทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม. 21+000 – กม.21+100 แสดงในภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งที่ทำการวิจัย



ภาพที่ 2 หน้าตัดเชิงลาดและลักษณะความเสียหายบริเวณที่ทำการวิจัย (มาตราส่วน 1:100)

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยสามารถอธิบายรายละเอียดตามแผนผังขั้นตอนการวิจัยตามภาพที่ 5 และสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

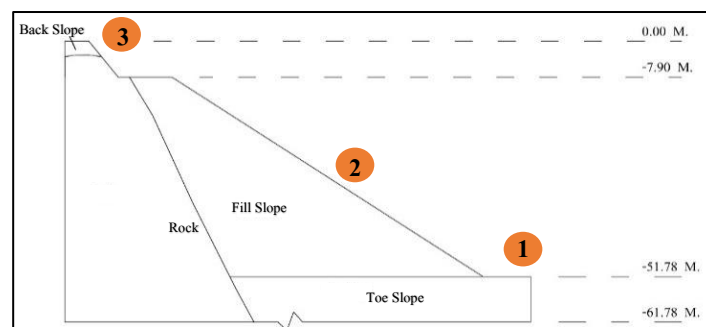
1. ทำการตั้งสมมติฐานที่มีความสอดคล้องกับลักษณะของการวิบัติที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เชิงลาดการการวิบัติเกิดขึ้น โดยเริ่มจากพิจารณาจากองค์ประกอบของรูปแบบของการวิบัติในสนาม ซึ่งอาจจะพิจารณาจากประเภทของดินและองค์ประกอบต่างๆที่ตรวจพบในบริเวณที่เกิดการวิบัติ และปัจจัยภายนอกที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการวิบัติ

2. ดำเนินการวางแผนการสำรวจพื้นที่ของภูมิประเทศในบริเวณที่จะทำการศึกษา โดยเป็นการสำรวจมิติต่างๆของแนวการวิบัติ ได้แก่ ความกว้าง ขาว และความลึก เป็นต้น ด้วยเทปวัดระยะเพื่อเป็นข้อมูลในการทำแบบจำลองแสดงในภาพที่ 3 และเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ โดยการขุดบ่อทดสอบดิน (Test Pit) จะทำการเก็บตัวอย่างจากความลึกผิวดินเดิมลงไปประมาณ 1.00 ม. – 1.50 ม.จำนวน 3 บ่อทดสอบในตำแหน่งต่างๆ ได้แก่

1) จุดที่ 1 บริเวณ Toe Slope 2) จุดที่ 2 บริเวณ Fill Slope 3) จุดที่ 3 บริเวณ Back Slope แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ



ภาพที่ 4 จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีขุดจากบ่อทดสอบดิน (Test Pit)

3. ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากดินที่นำมาทดสอบได้จากการขุดจากหลุมทดสอบ (Test Pit) ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นจะเป็นการหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ประกอบไปด้วย

- 1) วิเคราะห์ขนาดเม็ดดินวิธีของ ASTM D422 [5]
- 2) ทดสอบ Liquid Limit มาตรฐาน ASTM D4318 [6]
- 3) การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ASTM D698-78 [7]
- 4) กำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบไม่แช่น้ำ (Un-soaked Direct Shear) ASTM D3080 [8]
- 5) กำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบแช่น้ำ (Soaked Direct Shear) ASTM D3080 [8]

4. วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยวิธีสมมูลจำกัด (Limit Equilibrium) ด้วยโปรแกรม Slide และวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D (Program License: Pongsagom Pongchompu, 2021) โดยแบ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ออกเป็น 2 สภาวะ คือ สภาวะของดินที่ความชื้นปกติซึ่งค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับความชื้นตามธรรมชาติและให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และสภาวะของดินที่ความชื้นสูงซึ่งค่าที่ได้จะทำให้ดินอยู่ในสภาวะที่วิกฤต โดยที่คุณสมบัติของดินที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

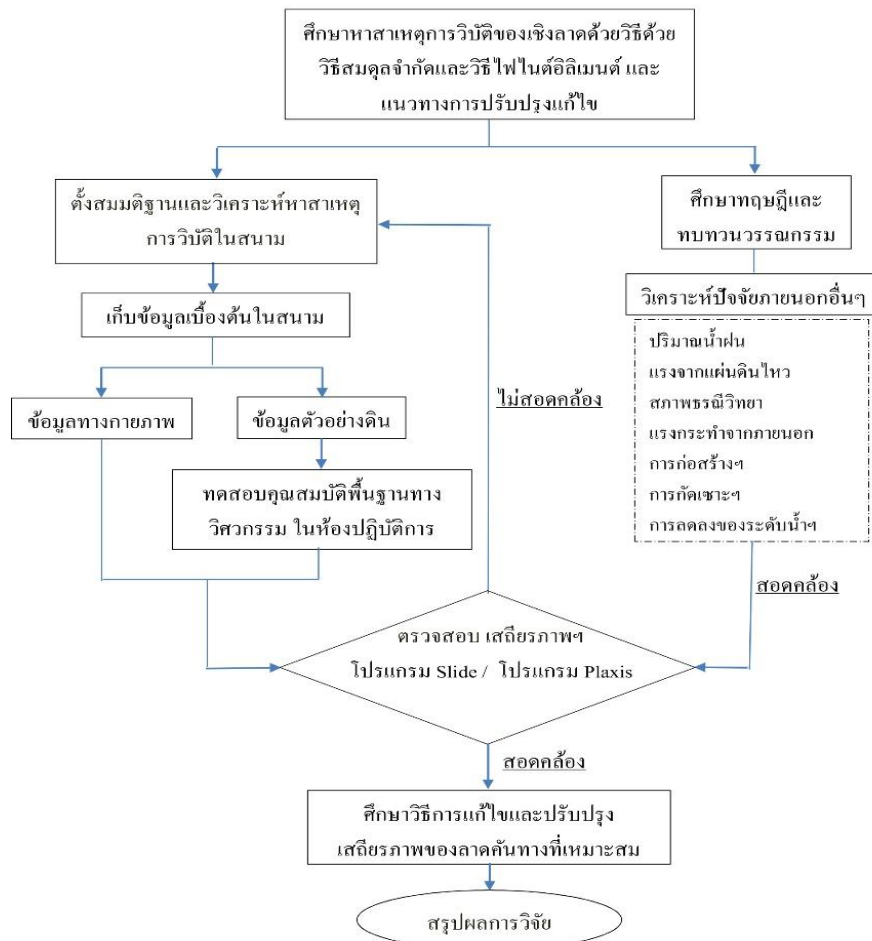
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติที่ใช้ในแบบจำลอง

Parameters	Back Slope	Fill Slope	Toe Slope	Unit	Remark
Soil Type	Silty Sand (SM)	Silty Sand (SM)	Clayey Sand (SC)		
Dry Density	17.7	18.0	17.5	KN/m ³	ผลทดสอบ
Dry Unit Weight	16.9	17.1	16.4	KN/m ³	ผลทดสอบ
Wet Unit Weight	18.9	19.0	19.0	KN/m ³	ผลทดสอบ
Cohesion	8.1	11.3	42.8	KN/m ²	ผลทดสอบ
Friction angle	27.91	33.11	32.14	Degrees	ผลทดสอบ
Young's Modulus	21000	21000	24000	KN/m ²	Joseph E. Bowles. (1988)
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	-	Kulhawy et al. 1983 , Budhu 2000
Horizontal permeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	m/day	whitlow 1995
Vertical permeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	m/day	whitlow 1995

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูงที่ใช้ในแบบจำลอง

Parameters	Back Slope	Fill Slope	Toe Slope	Unit	Remark
Soil Type	Silty Sand (SM)	Silty Sand (SM)	Clayey Sand (SC)		
Dry Density	17.7	18.0	17.5	KN/m ³	ผลทดสอบ
Dry Unit Weight	16.9	17.2	16.7	KN/m ³	ผลทดสอบ
Wet Unit Weight	18.9	19.0	19.2	KN/m ³	ผลทดสอบ
Cohesion	5.1	5.1	20.8	KN/m ²	ผลทดสอบ
Friction angle	28.28	38.14	29.49	Degrees	ผลทดสอบ
Young's Modulus	21000	21000	24000	KN/m ²	Joseph E. Bowles. (1988)
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	-	Kulhawy et al. 1983 , Budhu 2000
Horizontal permeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	m/day	whitlow 1995
Vertical permeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	m/day	whitlow 1995

ผลการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน โดยวิธีเฉือนโดยตรง (Direct Shear) ตามมาตรฐานของ ตามมาตรฐานของ ASTM D3080 พบว่า ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (C) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของกำลังต้านทานแรงเฉือนดินลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเม็ดดินมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น และโดยปกติค่าพารามิเตอร์ (C, ϕ) ที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าแปรผันตามกำลังรับแรงเฉือนของดิน สำหรับในกรณีที่มีตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบนี้ ค่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดดิน (ϕ) ในสภาวะปริมาณความชื้นปกติที่ได้ค่าน้อยกว่าการทดสอบดินในสภาวะปริมาณความชื้นสูงนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้จากความซับซ้อนของพฤติกรรมของดิน (อดุลย์ ะ โภบ, 2549)



ภาพที่ 5 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ต้องพิจารณาเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้ กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับสำหรับการออกแบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายสภาวะดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่เกณฑ์ในการกำหนดค่าต่ำสุดของอัตราส่วนความปลอดภัย เพื่อพิจารณาความปลอดภัยของงาน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความแปรปรวนในค่าความแข็งแรงของดินเชิงลาด จำนวนข้อมูลที่สามารถได้ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล รูปหน้าตัดของเชิงลาด การระบายน้ำในดิน ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสภาพต่างๆ ของเชิงลาด

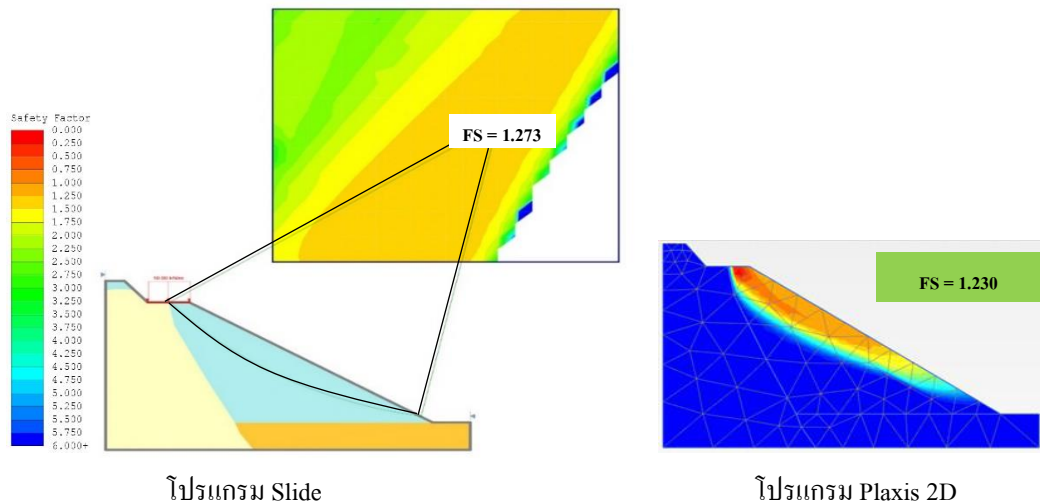
ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด [13]

ลักษณะของงาน	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับ
สำหรับสภาวะน้ำหนักรรทุกถาวร	1.50
สำหรับสภาวะน้ำหนักรั่วครว	1.25 ถึง 1.30
เหตุการณ์กรณีพิเศษเกิดขึ้น ได้แก่ - การเกิดแผ่นดินไหว การลดระดับน้ำทันที เป็นต้น	1.15 ถึง 2.00

ผลการวิจัย

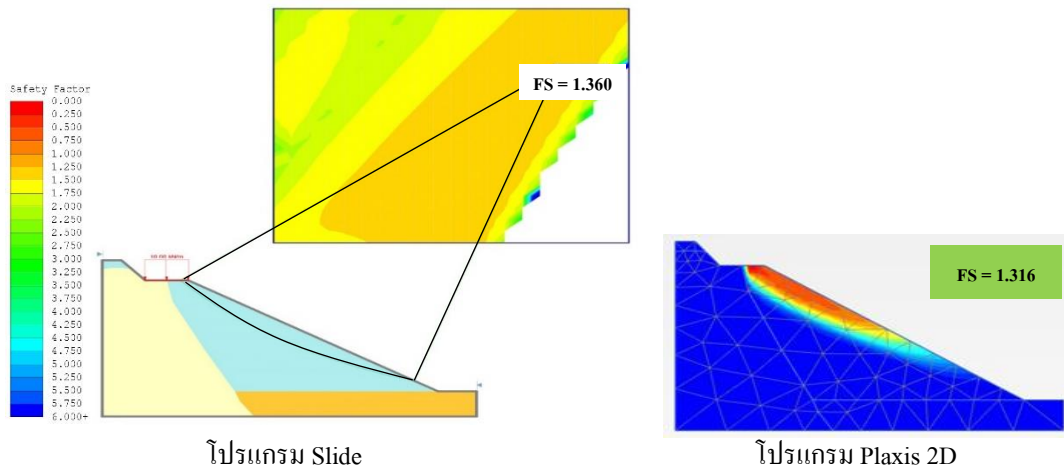
ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติ โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 1.273 และ 1.230 แสดงในภาพที่ 6 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์และต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986)



ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิง ที่สภาวะความชื้นปกติ ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D

2. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นสูงเท่ากับ 1.360 และ 1.316 แสดงในภาพที่ 7 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986)



ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์เชิงลาด ที่สภาวะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D

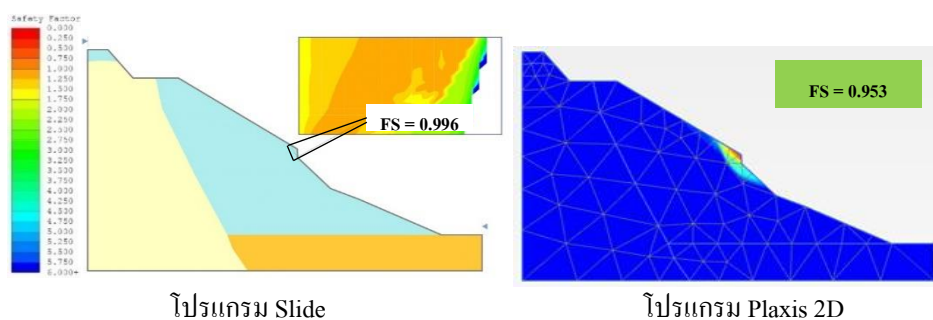
3. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง ในกรณีที่เชิงลาดถูกกัดเซาะซึ่งเป็นการตั้งสมมติฐานของการวิบัติตามสภาพพื้นที่จริงในสนาม

พงศ์พันธ์ [14] เมื่อปล่อยน้ำลงมาจากส่วนบนของเชิงลาด กระบวนการการกัดเซาะจะเกิดขึ้นที่บริเวณฐานของเชิงลาดก่อน แล้วจึงขยายตัวในแนวราบเป็นช่องใหญ่ขึ้น

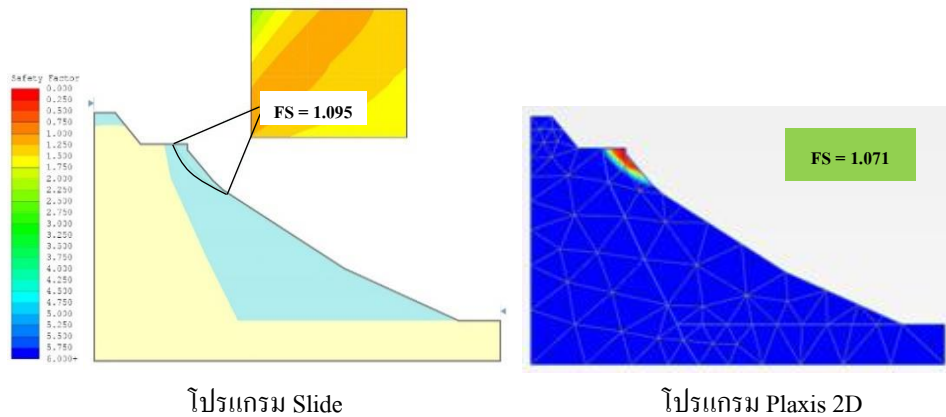
พณัยศักดิ์ [15] ดินที่ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายก็คือดินที่มีขนาดของอนุภาคเม็ดดินปานกลาง เช่น ดินที่มีอนุภาคแป้ง (silt) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคในช่วง 0.002 ถึง 0.05 มม. ปะปนอยู่ ดินชนิดใดก็ตามที่มีอนุภาคดินแป้งผสมอยู่ในสัดส่วนประมาณ 40 ถึง 60% จะเป็นดินที่ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายมากที่สุด

พานิช [16] ได้สรุปการจัดลำดับความสามารถถูกกัดเซาะของชนิดดิน จากมากที่สุดไปยังความสามารถถูกกัดเซาะน้อยที่สุดดังนี้ $ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > SW > GP > GW$

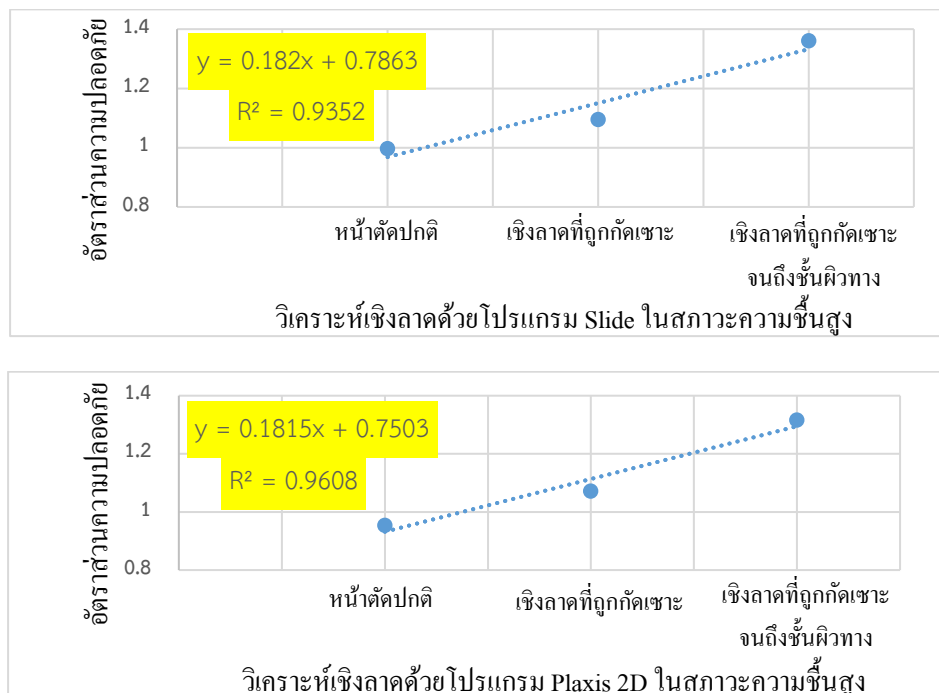
ซึ่งผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.996 และ 0.953 แสดงในภาพที่ 8 ตามลำดับ และหลังจากนั้นขบวนการวิบัติก็ค่อยๆลุกลามขึ้นเรื่อยๆ เข้าสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทางซึ่งมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.095 และ 1.071 แสดงในภาพที่ 9 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐานกำหนดไว้ และเมื่อนำผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดที่ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูงทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบกับค่า R^2 จะพบว่าได้ค่าเท่ากับ 0.935 และ 0.960 แสดงในภาพที่ 10 ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะสภาวะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะและลุกลามจนถึงชั้นผิวทางสถานะความชื้นสูงด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D



ภาพที่ 10 ผลการเปรียบเทียบ ค่า R^2 ของเชิงลาดในสถานะความชื้นสูง ระหว่าง โปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D

แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

การป้องกันการกัดเซาะเชิงลาดบริเวณทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม.21+000 – กม.21+100 ซึ่งมีสาเหตุมาจากน้ำที่ไหลลงสู่เชิงลาดแล้วเริ่มกัดเซาะบริเวณ TOE SLOPE และค่อยๆลุกลามจนถึงชั้นผิวทาง ซึ่งตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง STABILITY AND EROSION PROTECTION [17] และคู่มือการแนะนำแก้ไขการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด ของกรมทางหลวง [18] ดังนี้

1. การป้องกันจากปัจจัยหลักด้วยการจัดการระบบระบายน้ำบนเชิงลาด

รางระบายน้ำบนเชิงลาดหรือรางระบายน้ำผิวดินถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของเชิงลาด รางระบายน้ำเป็นโครงสร้างที่ควบคุมการไหลของน้ำทั้งยังเป็นแนวป้องกันการไหลบ่าของน้ำจากภายนอกเชิงลาดที่อาจเข้ามาสร้างความเสียหายได้ การก่อสร้างต้องตรวจสอบความถูกต้องว่าจุดปล่อยน้ำต้องอยู่นอกพื้นที่ของเชิงลาดหรือไม่สร้างความเสียหายในอนาคต แสดงในภาพที่ 11



(ก) Berm Ditch



(ข) Drain Chute



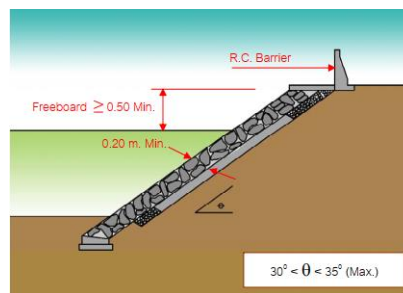
(ค) Toe Ditch

ภาพที่ 11 ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด

2. การเสริมแรงให้กับโครงสร้างเชิงลาดเพื่อป้องกันการกัดเซาะ

2.1 หินเรียงยาแนว(MORTAR RIP-RAP)

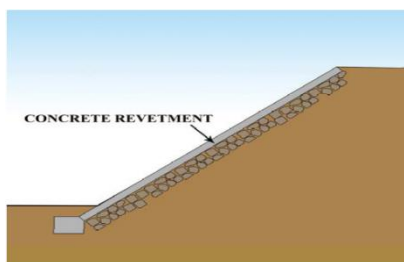
หินเรียงยาแนว (Rip-Rap Protection) เป็นการนำหินเรียงขนาดกลางถึงใหญ่นำมาเรียงกันอย่างแน่นหนา โดยที่ช่องว่างระหว่างก้อนหินจะใช้การประสานด้วยปูนทราย (Mortar) ต้องเติมลงไปในช่วงว่างระหว่างก้อนหิน โดยให้รอยต่อของหินทุกก้อนมีปูนทรายประสานอย่างสมบูรณ์ สำหรับหินเรียงที่มีน้ำไหลผ่านอยู่เสมอ เช่น หินเรียงที่ปลายท่อระบายน้ำ หรือลาดเอียงที่มีการระบายน้ำ ผิวของปูนทรายต้องเรียบและเสมอกับผิวของก้อนหินที่เรียง เพื่อให้ผิวทั้งหมดเรียบเหมาะกับการระบายน้ำ หินเรียงยาแนวนิยมนำมาใช้ป้องกันในบริเวณที่มีการกัดเซาะรุนแรง เช่น บริเวณปลายเชิงลาด (Toe Slope) แสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 รูปแบบการก่อสร้างหินเรียงยาแนว [18]

2.2 คอนกรีตลาด(Concrete Lining)

คอนกรีตลาด (Concrete Lining) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะหน้าดินเพื่อรักษาผิวหน้า ไม่ให้เกิดการพังทลายของหน้าดิน โดยมีการเสริมเหล็กเพิ่มความแข็งแรงของเชิงลาด แสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 รูปแบบการก่อสร้างคอนกรีตลาด (Concrete Lining) [18]

2.3 กล่องลวดตาข่าย(Gabion and Mattress)

กล่องลวดตาข่าย(Gabion and Mattress) ใช้สำหรับป้องกันการพังทลายจากการกัดเซาะ เป็นกล่องลวดตาข่ายโลหะที่ไม่เป็นสนิม หรือถูกเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันการเกิดสนิม เช่น Polyvinyl เป็นต้น และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion) หรือผลจากกระบวนการ Weathering ต่างๆ ภายในบรรจุหินขนาดต่างๆ ที่หาได้ง่ายและมีความทนทาน จนเต็มขนาดกล่องแล้วนำมาปูวางในบริเวณที่ต้องการป้องกันการกัดเซาะ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการกัดเซาะรุนแรง นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของแรงต้านบริเวณด้านล่างของเชิงลาดให้มีเสถียรภาพมั่นคงขึ้นได้ด้วย หลักการทำงานเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน ซึ่งกล่องลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกันดินช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน เป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับเชิงลาด แสดงในภาพที่ 14



(ก) Gabion



(ข) Mattress

ภาพที่ 14 รูปแบบการก่อสร้าง Gabion และ Mattress [18]

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการวิบัติของเชิงลาด ทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม.21+000 ซึ่งได้ตรวจสอบด้วยวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเชิงลาดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) แต่วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าต่ำกว่าวิธีสมมูลจำกัดอยู่เล็กน้อย และค่า R^2 ที่ได้เท่ากับ 0.935 และ 0.960 ตามลำดับ โดยที่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเสถียรภาพของเชิงลาดนั้นคือน้ำที่ไหลลงจากบริเวณคันทางแล้วลงสู่เชิงลาดที่ไม่มีการป้องกัน ทำให้การกัดเซาะจะเริ่มต้นที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) และค่อยๆ ลูกกลิ้งเข้าไปสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง โดยแนวทางการป้องกันควรเริ่มจากการป้องกันน้ำไม่ให้ซึมเข้าสู่โครงสร้างเชิงลาด ซึ่งอาจจะมี การจัดระบบการระบายน้ำที่ดี รวมทั้งการป้องกันการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาด (Toe Slope) ซึ่งเป็นขบวนการเริ่มแรกของการขยายตัวของแนววิบัติ ด้วยวิธีลาดคอนกรีตที่ผิวของเชิงลาด หรืออาจจะใช้กล่องลวดตาข่าย Mattress และการเรียงหินร่วมด้วย โดยจะต้องพิจารณาจากสภาพพื้นที่ ขบวนการก่อสร้างและความคุ้มค่าของงบประมาณ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณ โกมลย์ ชัยรัตนงามเดช ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค ที่ให้คำปรึกษาในการวิจัย และขอขอบคุณหมวดทางบ่อสลี แขวงทางหลวงเชียงใหม่ที่ 1 และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Visudmedanukul P. Foundation Engineering Handbook, SE-EDUCATION Public Company Limited, Bangkok. 2015.
2. Chimoye W. Foundation analysis and design, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University. 2001.
3. Whitman RV, Bailey WA. Use of computers for slope stability analysis. J. Soil Mech. Found, Div, ASCE 93. 1967.
4. Tunmung P. Comparisons of Analysis Results of Slope Stability between Limit Equilibrium Method and Finite Element Method, Thai Science and Technology Journal, Vol.24 (1). 2016.
5. ASTM D 422. Standard test method for particle-size analysis of soils. In Annual Book of ASTM Standards.04.08. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, USA. 2007.
6. ASTM D 4318. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity index of Soils. In Annual Book of ASTM Standards. 04.08. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, USA. 2010.
7. ASTM D 698. Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, USA. 2007
8. ASTM D 3080. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. In Annual Book of ASTM Standards. 04.08. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, USA. 2014
9. Joseph E. Bowles. Foundation Analysis and Design, 1988.
10. Budhu M. Soil Mechanics and Foundations, 2000.
11. Kulhawy F H, Trautmann, C H, Beech J.F, O'Rourke T D, Mc Guire W. 1983.
12. Whitlow. Basic Soil Mechanics, 1995.
13. Navfac Design Manual 7.10 Soil Mechanic, Department of the Naval Facilities Engineering Command, Chapter 7, Slope Stability and Protection. 1986.
14. Kanjanakaroon P. The Study of Embankment Breach from Overtopping Flow near, Hydraulic Structure by Physical Model, SWU Engineering Journal, Vol.10 (1), 12-21 2015.
15. Witthawatchutikul P. Basin hydrology model River Basin Group, Research and Development Section Forest environment. FOREST RESEARCH AND DEVELOPMENT OFFICE, 1991.
16. 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.



17. Department of Highways. Standard Drawing for Highways Design and Construction (revision 2015), Ministry of transport, Thailand. 2018.
18. 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.