

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินและแนวทางป้องกันตลิ่งลำน้ำแม่ปืม Slope Stability Analysis and Protection of Mae Puem Riverbank

ปัญจพล ปลั่งมาก^{1,*} ธนกร ชมภูรัตน์²

¹ นิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

² รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

*Corresponding author; E-mail address: 64103149up.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาปรับปรุงภูมิทัศน์ลำน้ำแม่ปืมในเขตพื้นที่จังหวัดพะเยา เป็นการพัฒนาเพื่อใช้ทรัพยากรธรรมชาติของลำน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการอุปโภคบริโภค การประกอบอาชีพในภาคเกษตรกรรม รวมไปถึงบ้านเรือน สิ่งปลูกสร้างบริเวณตลิ่งลำน้ำแม่ปืมที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นโดยมีเป้าหมายในการพัฒนาเศรษฐกิจและฟื้นฟูสร้างความสมดุลระบบนิเวศในลำน้ำ ในอดีตจนถึงปัจจุบันปัญหาที่พบของลำน้ำแม่ปืม คือ เกิดการกัดเซาะตลิ่งของลำน้ำที่ขาดเสถียรภาพของลาดดินและยังพบว่ามียารั่วพร้อมที่จะเกิดการกัดเซาะตลิ่งของลำน้ำอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ในพื้นที่ศึกษายังไม่ได้มีแนวทางการเสริมโครงสร้างป้องกันตลิ่งลำน้ำที่เกิดการกัดเซาะตลิ่งลาดดินอย่างเหมาะสมตามหลักวิศวกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาแนวทางป้องกันตลิ่งลำน้ำในรูปแบบทางวิศวกรรมอย่างมั่นคงแข็งแรงคุ้มค่าในงานก่อสร้าง จึงได้ดำเนินการสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะการกัดเซาะในพื้นที่ศึกษา ผลการสำรวจเบื้องต้นลักษณะการกัดเซาะส่วนใหญ่เกิดขึ้นในรูปแบบ Sliding failure ลาดดินมีการเคลื่อนตัวไปตามระนาบตลิ่งลำน้ำ รวบรวมข้อมูลดินจากการเจาะสำรวจ ประกอบกับปัจจัยทางกายภาพ อัตราการไหลของน้ำ การลดระดับของน้ำแบบฉับพลันที่ระดับต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดินโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 โปรแกรม ในอดีตจนถึงปัจจุบันโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน คือ Geoslope 2012 slope/w โดยวิธี Limit equilibrium และ Plaxis 2D โดยวิธี Finite element ซึ่งทั้ง 2 โปรแกรมเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดินได้ ถึงแม้จะมีวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลแตกต่างกันแต่สามารถประเมินเสถียรภาพลาดดินได้เช่นกัน ก่อนจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาประกอบการพิจารณาวิเคราะห์ในการออกแบบโครงสร้างป้องกันตลิ่งลำน้ำแม่ปืม สำหรับนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการก่อสร้างแนวป้องกันตลิ่งลำน้ำอย่างมั่นคงถาวรและเป็นแนวทางให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ลำน้ำแม่ปืม, เสถียรภาพลาดดิน, โปรแกรมคอมพิวเตอร์, โครงสร้างป้องกันตลิ่งลำน้ำ

Abstract

Developing and improving the landscape of the Mae Puem River in Phayao Province. It is a development to use the natural resources of the river for maximum benefit for consumption. Occupation in the agricultural sector including houses The number of buildings along the banks of the Mae Puem River is increasing with the goal of economic development and restoring and balancing the ecosystem in the river. In the past until the present, the problems encountered in the Mae Pue River were the collapse of the river bank that lacked the stability of the soil slopes and it was also found that there were cracks ready to cause continuous collapse of the river bank. However, in the study area there has not yet been a guideline for strengthening structures to protect river banks that have failed and lack the stability of the soil slopes appropriately according to engineering principles. Therefore, in this research, we focus on collecting data to analyze and find ways to protect riverbanks in an engineering style that is stable, strong and cost-effective in construction. Therefore, a survey was conducted to collect data on the nature of the disaster in the study area. Results of the preliminary survey. Most of the failures occurred in the form of sliding failure. The soil slope moved along the plane of the river bank. Collect soil data from drilling surveys. together with physical factors water flow rate Sudden reduction of water level at various levels To analyze the safety ratio of soil slope stability by using 2 computer programs. In the past until now, the programs that are widely used in soil slope stability analysis are Geoslope 2012 slope/w by Limit equilibrium method and Plaxis 2D by Finite element method. Both programs are software that can analyze the safety ratio of soil slope stability. Although there are different methods for analyzing data, Before the results are used for analysis in designing a structure to protect the Mae Pue

River bank. For use to benefit in the construction of stable, permanent riverbank protection and as a guideline for relevant agencies in the future.

Keywords: Mae Puem River, Slope stability, Computer program, Riverbank protection structure

1. ปัญหาและความสำคัญ

การวิบัติพังทลายของลาดดินตลิ่งลำน้ำแม่ปืม กลายเป็นปัญหาหลักของผู้ใช้ประโยชน์ทั้งผู้ประกอบการอาชีพเกษตรกรรมและผู้อยู่อาศัยบริเวณตลิ่งลำน้ำ การวิบัติพังทลายของลาดดินตลิ่งลำน้ำแม่ปืมเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรกรรม เพราะเนื่องจากด้วยบริเวณลาดดินเกิดการวิบัติพังทลายจึงทำให้การปล่อยน้ำจากทางอ่างเก็บน้ำไม่สามารถปล่อยน้ำในปริมาณตามแผนการปล่อยได้ ถึงแม้ในฤดูฝนมีปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจากฝน ผู้ประกอบการอาชีพเกษตรกรรมก็ไม่สามารถกักเก็บสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ตามความต้องการเนื่องจากปริมาณน้ำฝนนั้นค่อนข้างคาดการณ์ยากและเพิ่มขึ้นลดลงกะทันหัน และปัญหาที่พบของผู้อยู่อาศัยบริเวณตลิ่งลำน้ำบางครั้งเฝ้าระวังผลกระทบต่อโครงสร้างที่อยู่อาศัยทรุดตัว ถนนที่ใกล้ยุบเกิดความเสียหาย ก่อให้เกิดความหวาดกลัวต่อผู้อยู่อาศัยบริเวณตลิ่งลำน้ำ ดังนั้นปัญหาการวิบัติพังทลายของลาดดินตลิ่งลำน้ำแม่ปืมจึงเป็นปัญหาหลักของผู้อยู่อาศัย ผู้ใช้ประโยชน์ถนนสาธารณะ อาคารบ้านเรือนบริเวณตลิ่งลำน้ำแม่ปืมตลอดจนผู้ประกอบการอาชีพเกษตรกรรมที่ใช้ประโยชน์จากลำน้ำแม่ปืมอีกด้วย

จากปัญหาการวิบัติพังทลายของลาดดิน มีผู้ที่สนใจศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวิบัติพังทลายเสถียรภาพของดินด้วยวิธีการต่าง ๆ มากมาย [เสวตประกายรุ่งศรี, วิชัย พันธะทิพย์ และชาติ นาวานุเคราะห์, 2554] ได้เคยศึกษาวิเคราะห์การชะล้างพังทลายของดิน โดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation) ตามวิธีของวิชไมเออร์และสมิธ [Wischmeier and Smith.,1978] ผลการศึกษาใช้เป็นแนวทางอนุรักษ์สภาพแวดล้อม จัดการที่ดินและวางแผนการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ประจัน [Arun และคณะ, 2020] ได้ทำการศึกษาวเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินถล่มในพื้นที่ภูรินเขอรี รัฐเกรละ ประเทศอินเดีย โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ 2 โปรแกรม วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความปลอดภัย แล้วแก้ปัญหาโดยการปลูกพืชปกคลุมรักษาฟื้นฟูสภาพลาดดินช่วยลดการกัดเซาะจากพื้นผิวด้านบนและน้ำฝน ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมให้ออมได้อีกวิธีหนึ่ง

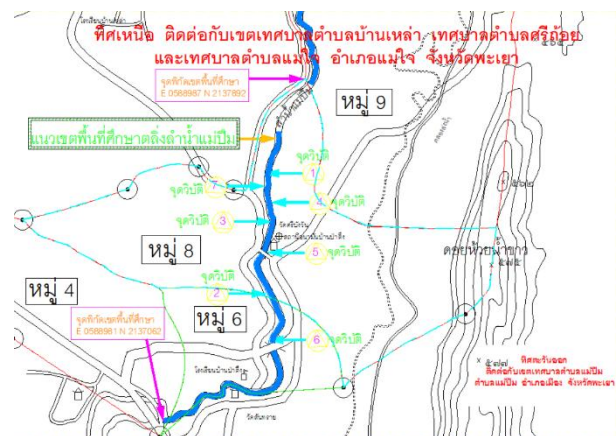
ลำน้ำแม่ปืมถือเป็นลำน้ำที่มีความสำคัญที่ได้รับการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่ปืมก่อนไหลผ่านไปบรรจบกับลำน้ำอิง รวมถึงปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากลำน้ำแม่ปืมทั้งอุปโภคบริโภคและมีการก่อสร้างที่อยู่อาศัยบริเวณใกล้ตลิ่งลำน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะศึกษาวเคราะห์เสถียรภาพลาดดินของตลิ่งลำน้ำแม่ปืมเพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์โครงสร้างทางวิศวกรรมเพื่อหาแนวทางป้องกันตลิ่งลำน้ำแม่ปืมอย่างคงทนถาวรได้

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 ขอบเขตพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูล

ลำน้ำแม่ปืมในเขตตำบลแม่ใจ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา มีความยาวของลำน้ำอยู่ที่ประมาณ 10.237 กิโลเมตร ในส่วนพื้นที่บริเวณตลิ่งลำน้ำที่จะได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลอยู่ในแนวเขตหมู่บ้านที่มีครัวเรือนที่พักอาศัย การใช้ประโยชน์อุปโภคบริโภคครอบคลุมถึงเกษตรกรรมในหมู่ที่ 6 และหมู่ที่ 8 ตำบลแม่ใจ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดการวิบัติของเสถียรภาพลาดดินส่งผลกระทบต่อความเสียหายต่อชาวบ้านมากที่สุด

การสำรวจพื้นที่ขอบเขตศึกษา ซึ่งสำรวจขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่มีหมู่บ้านชุมชน ที่ลำน้ำแม่ปืม ไหลผ่าน ประกอบด้วย หมู่ที่ 6 บ้านป่าตึงใต้ ตำบลแม่ใจ และ หมู่ที่ 8 บ้านป่าตึงเหนือ ตำบลแม่ใจ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา บริเวณทำการสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะลาดดินในพื้นที่ศึกษา มีทั้งหมด 7 จุดพื้นที่วิบัติ ในแนวเขตตำบลแม่ใจ โดยจุดเริ่มต้นพิกัด E 0588981 N 2137062 สิ้นสุดเขตหมู่ที่ 6 ถึง พิกัดจุดสิ้นสุด E 0588987 N 2137892 สิ้นสุดเขตหมู่ที่ 8



รูปที่ 1 รูปแสดงแนวสำรวจข้อมูลในขอบเขตที่จะดำเนินการศึกษา พิกัดจุดเริ่มต้น E 0588981 N 2137062 พิกัดจุดสิ้นสุด E 0588987 N 2137892 และตำแหน่งทั้ง 7 จุดวิบัติ

2.2 ข้อมูลลักษณะลาดดินจากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลจะสำรวจ

ข้อมูลลักษณะลาดดินจะดำเนินการจากการสำรวจเก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่ที่เกิดการพังทลายของลาดดินตลิ่งลำน้ำในช่วงปี พ.ศ.2564-2565 ในกรอบเขตพื้นที่ศึกษาและบริเวณที่เกิดการพังทลายนอกกรอบเขตพื้นที่ศึกษาแต่อยู่ในความรับผิดชอบของเทศบาลตำบลรวมใจพัฒนา ซึ่งแยกออกเป็น 2 หมู่บ้าน คือ หมู่ที่ 6 บ้านป่าตึงใต้และหมู่ที่ 8 บ้านป่าตึงเหนือ ตำบลแม่ใจ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยาซึ่งมีบริเวณที่จะทำการเก็บข้อมูลลักษณะลาดดินจากการสำรวจ 7 จุดวิบัติ

ลักษณะรูปแบบการพังทลายของลาดดินตลิ่งลำน้ำ มีหลายรูปแบบซึ่งเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ [Imanshoar และคณะ, 2012] ได้แบ่งรูปแบบจากการศึกษาเชิงทดลองการกัดเซาะผิวลาดดินบริเวณตลิ่ง โดยสาเหตุหลักของ

รูปแบบการพังทลายเกิดจากการกัดเซาะ และการซึมผ่านของมวลน้ำใน อนุภาคของมวลดินจนเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของลาดดิน กรณีในการ ซึมผ่านของน้ำในชั้นดินทราย ยิ่งถูกกัดเซาะก็จะเกิดการยุบตัวแล้วพังทลาย การสูญเสียเสถียรภาพของมวลดินและความชื้นที่สะสมอยู่ในชั้นดินจะเกิด ความดันน้ำรูพรุนต่อเสถียรภาพของความลาดชันของหน้าดิน รูปแบบของ การกัดเซาะลักษณะนี้จึงเรียกว่า “รูปแบบท่อกระซาง”



รูปที่ 2 ลักษณะลาดดินที่เกิดการพังทลาย ณ จุดวัดที่ 6

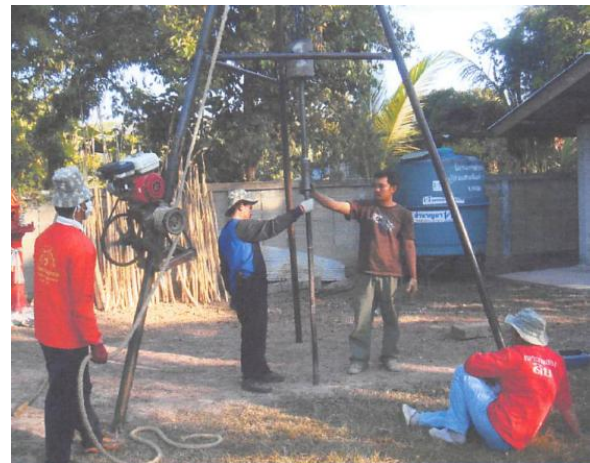
ข้อมูลเจาะสำรวจดิน ในขอบเขตที่จะดำเนินการศึกษา พิกัดจุดเริ่มต้น E 0588981 N 2137062 พิกัดจุดสิ้นสุดโครงการ E 0588987 N 2137892

ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน พิกัด E 0588981 N 2137062 ที่ทำการ เจาะระบบประปาหมู่บ้าน ตั้งอยู่ในที่สาธารณะประโยชน์หมู่บ้านใกล้เคียง บริเวณตลิ่งลำน้ำ โดยได้ทำการเจาะสำรวจได้ความลึกสูงสุดอยู่ที่ 9.45 เมตร ตั้งแต่ผิวดิน ลงไปถึงความลึกเฉลี่ย 2.50 เมตร ดินชั้นนี้ประกอบด้วย ดิน ชนิด ทรายละเอียดมาก (Silty very fine sand) โดยมี สีนํ้าตาลมีค่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RELATIVE DENSITY) ซึ่งตรวจวัดโดยการแบ่ง ตัวอย่าง (SPLIT SPOON SAMPLE) มีค่าอยู่ในช่วงหลวมมากถึงปานกลาง (VERY LOOSE TO MEDIUM) ดินชนิดนี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม SM-SP จาก ระดับความลึกเฉลี่ย 2.50 เมตร ลงไปจนถึงก้นหลุมเจาะทดสอบ ที่ระดับ ความลึกเฉลี่ยประมาณ 9.45 เมตร ดินชั้นนี้ประกอบด้วยดินชนิด ดิน เหนียว (SILTY CLAY) โดยมีดินแดง (LATERITES) แทรกปนอยู่ในชั้นล่างๆ มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ซึ่งตรวจวัดโดยการแยกตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วงแข็ง ถึงแข็งมาก (VERY STIF TO HARD) ดินชนิดนี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม CL- ML,CL-SM

ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน พิกัด E 0588987 N 2137892 ชั้นดินที่ ระดับ 2.00 เมตร จากผิวดินเป็นดินเหนียวปนตะกอน มีความแน่น พอสมควร มีสีนํ้าตาลแดงปนเทา (REDDISH-BROWN & GREY SILTY CLAY) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง STIFF และเหมาะสมที่จะทำการก่อสร้าง ความต้านทานประลัยของดินทั้งในแง่เสถียรภาพและการทรุดตัวมีค่ามากกว่า 26.43 ตันต่อตารางเมตร โดยทั่วไปเมื่อคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของ ความชื้นในมวลดิน อันเนื่องมาจากผิวน้ำหรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำได้

ดินซึ่งมีผลต่อความชื้นและการทรุดตัวของดินผู้ที่นำข้อมูลไปใช้ควรเผื่อ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลในเบื้องต้นด้วย

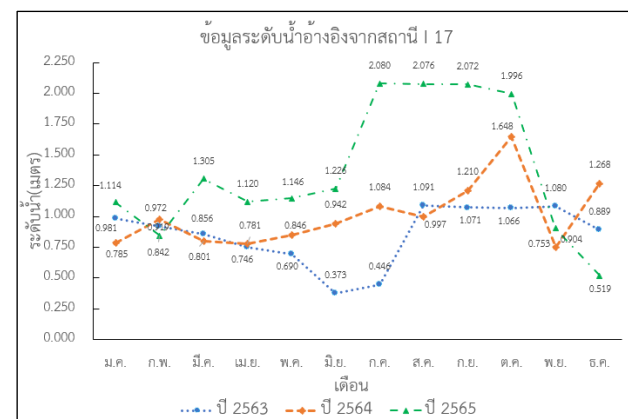
ปัจจัยของพารามิเตอร์ในดินที่ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดดินริมตลิ่ง ใน การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินค่าความปลอดภัยจะแปรผันตาม คุณสมบัติของมวลดิน ในหลักการเบื้องต้นที่จะทราบข้อมูลพารามิเตอร์ของ ดิน วิเคราะห์เสริมความลาดชันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน การเจาะสำรวจเพิ่มหลุมทดสอบมากขึ้นเพื่อที่จะลดสัมประสิทธิ์ความ แปรปรวนในคุณสมบัติของ [S. Thongchart, V. Sooksatra และ S. Sorulump, 2550]



รูปที่ 3 เจาะสำรวจดินโครงการขยายเขตประปา หมู่ที่ 6 ตำบลแม่ใจ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา บริเวณตลิ่งลำน้ำ

2.1 ข้อมูลระดับน้ำในลำน้ำแม่ปืม

ข้อมูลระดับน้ำอ้างอิงจากสถานี I 17 เจดีย์งาม (แม่น้ำอิง) ตำบล ท่าวังทอง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นข้อมูลระดับน้ำที่มีลักษณะ ใกล้เคียงลำน้ำแม่ปืมเทียบจากการสำรวจลาดดินริมตลิ่งลำน้ำ ข้อมูลที่ นำมาใช้เทียบวัดระดับน้ำ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563-2565 ซึ่งการขึ้นลงของระดับ น้ำมีช่วงระดับน้ำที่แตกต่างกันไม่มากในแต่ละปี



รูปที่ 4 กราฟแสดงระดับน้ำขึ้นลงรายเดือน ในปี พ.ศ.2563-2565 จากสถานี
I 17 เจดีย์งาม(แม่น้ำอิง) ตำบลท่าวังทอง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

ทั้งนี้ในงานวิจัยยังทำการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ได้จาก
แหล่งข้อมูลอ่างเก็บน้ำแม่ปืมและข้อมูลปริมาณน้ำฝนจังหวัดพะเยา ซึ่ง
ปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลปริมาณน้ำเพิ่มเติมที่นำมารวมเข้ากับปริมาณน้ำใน
อ่างเก็บน้ำแม่ปืมโดยการคิดปริมาณน้ำฝนเป็นการเฉลี่ยข้อมูลปริมาณน้ำฝน
ในจังหวัดพะเยาต่อพื้นที่ดำเนินการวิจัย จะนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำ
ไหลลงสู่ลำน้ำปืม เพื่อหาระดับน้ำที่ขึ้นลงของน้ำในลำน้ำปืม โดยในงานวิจัย
นี้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่าน ลำน้ำ โดยวิธี
Muskingum [ธีรเมธ ธีรวิวัฒน์ นนท และวรวงษ์ โล่ไพศาลกุล, 2563]เป็นกระบวนการเคลื่อนตัวของน้ำหลาก (Flood Routing) วิเคราะห์
การเคลื่อนที่ของน้ำหลาก ใช้ศึกษาพฤติกรรมของคลื่นน้ำโดยพิจารณาการ
เปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตามเวลาและบริบทสภาพพื้นที่ ซึ่งเป็นวิธีที่
แสดงให้เห็นถึงระดับขึ้นลงของน้ำและเวลาที่ปริมาณน้ำสูงสุดใช้ในการ
เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

ในส่วนงานวิจัยนี้ใช้หลักการการคิดการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในลำน้ำ
(Channel Routing) เป็นวิธีการหาระดับน้ำและอัตราการไหลที่หน้าตัด
ต่างๆทางด้านท้ายน้ำของลำน้ำ สามารถช่วยคาดการณ์ปริมาณน้ำท่วมได้
นำไปสู่การออกแบบคันป้องกันน้ำท่วมได้ (Levee) การหาปริมาตรเก็บกัก
ในลำน้ำโดยวิธีของ Muskingum ดังสมการที่ 1 ถึง สมการที่ 7

$$S = K [xI + (1-x)Q] \quad (1)$$

เมื่อ

S คือ ปริมาตรเก็บกัก

K คือ ค่าคงที่ของเวลาเก็บกัก(เวลา)

x คือ สัดส่วนการไหลเข้าออก

$x = 0.0$ คือ S จะขึ้นอยู่กับ Q เท่านั้น

$x = 0.5$ คือ S จะขึ้นอยู่กับ I และ Q ในอัตราส่วนที่
เท่าๆกัน

$x = 1$ คือ S จะขึ้นอยู่กับ I เท่านั้น

I คือ อัตราการไหลเข้า Q คือ อัตราการไหลออก
ปริมาตรเก็บกักในลำน้ำ

$$S = KQ + Kx(I - Q) \quad (2)$$

ปริมาตรเก็บกักที่เวลา j

$$S_j = K [xI_j + (1-x)Q_j] \quad (3)$$

ปริมาตรเก็บกักที่เวลา $j+1$

$$S_{j+1} = K [xI_{j+1} + (1-x)Q_{j+1}] \quad (4)$$

$$\Delta S = S_{j+1} - S_j = K [xI_{j+1} + (1-x)Q_{j+1}] \quad (5)$$

$$-K [xI_j + (1-x)Q_j] \quad (6)$$

$$S_{j+1} - S_j = \left(\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \right) \Delta t - \left(\frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \right) \Delta t \quad (6)$$

สมการที่ 5 = สมการที่ 6 จัดรูปใหม่ได้

$$Q_{j+1} = C_1 I_j + C_2 I_{j+1} + C_3 Q_j \quad (7)$$

โดยที่

$$C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_3 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$\text{แล้ว } C_1 + C_2 + C_3 = 1$$

ข้อดีวิธี Muskingum สามารถหาระดับน้ำและอัตราการไหลที่หน้าตัด
ต่างๆทางด้านท้ายลำน้ำได้ สามารถออกแบบคันป้องกันน้ำท่วมได้และ
สามารถคาดการณ์ เดือนภัยน้ำท่วมได้

ข้อเสียวิธี Muskingum ไม่สามารถจำลองพฤติกรรมน้ำหลากที่มีการ
เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว ไม่ได้คำนึงถึงการระเหยของน้ำระหว่างการไหลและไม่
เหมาะกับการไหลที่มี backwater หรือ reverse flow

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลอัตราน้ำไหลเข้าและอัตราน้ำไหลออกของลำน้ำแม่ปืม

เดือน	อัตราน้ำไหลเข้า (ล้าน ลบ.ม.)	C1Ij (ล้าน ลบ. ม.)	C2Ij+1 (ล้าน ลบ. ม.)	C3Qj (ล้าน ลบ. ม.)	อัตราน้ำไหลออก (ล้าน ลบ.ม.)
ม.ค.	0.055				0.055
ก.พ.	0.044	0.031	0.018	0.001	0.050
มี.ค.	0.040	0.025	0.017	0.001	0.043
เม.ย.	0.017	0.023	0.007	0.001	0.031
พ.ค.	0.016	0.010	0.007	0.001	0.017
มิ.ย.	0.031	0.009	0.013	0.000	0.022
ก.ค.	0.035	0.017	0.015	0.000	0.032
ส.ค.	0.268	0.020	0.112	0.001	0.132
ก.ย.	0.415	0.151	0.173	0.003	0.326
ต.ค.	0.000	0.233	0.000	0.007	0.240
พ.ย.	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005
ธ.ค.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

จากข้อมูลความสัมพันธ์ของระดับน้ำขึ้นลงกับอัตราการไหลน้ำเข้าออก
ของข้อมูลระดับน้ำอ้างอิงจากสถานี I 17 เจดีย์งาม (แม่น้ำอิง)
มาเปรียบเทียบการอัตราการไหลน้ำเข้าน้ำออกที่คำนวณได้จากวิธี
Muskingum สามารถแบ่งช่วงของระดับน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1.ระดับน้ำ (Hw) มากกว่า 0 เมตร ไม่เกิน 0.50 เมตร : (0<Hw≤0.50)

พิจารณาระดับน้ำเฉลี่ยที่ 0.25 เมตร

- 2.ระดับน้ำ (Hw) มากกว่า 0.50 เมตร ไม่เกิน 1.00 เมตร :
(0.50<Hw≤1.00) พิจารณาระดับน้ำเฉลี่ยที่ 0.75 เมตร
- 3.ระดับน้ำ (Hw) มากกว่า 1.00 เมตร ไม่เกิน 1.50 เมตร :
(1.00<Hw≤1.50) พิจารณาระดับน้ำเฉลี่ยที่ 1.25 เมตร
- 4.ระดับน้ำ (Hw) มากกว่า 1.50 เมตร ไม่เกิน 2.00 เมตร :
(1.50<Hw≤2.00) พิจารณาระดับน้ำเฉลี่ยที่ 1.75 เมตร
- 5.ระดับน้ำ (Hw) มากกว่า 2.00 เมตร ไม่เกิน 2.50 เมตร :
(2.00<Hw≤2.50) พิจารณาระดับน้ำเฉลี่ยที่ 2.25 เมตร



รูปที่ 5 ภาพเสมือนแสดงระดับน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในลาดดินตลิ่งลำน้ำแม่ปืม

2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ GEOSLOPE 2012 SLOPE/W และ PLAXIS 2D

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินที่เกิดการวิบัติโดยผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ GEOSLOPE 2012 SLOPE/W กับ PLAXIS 2D เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์พื้นฐานทั่วไปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันในการจำลองโมเดล โดยทั่วไปเป็นแนวทางในการตัดสินใจของนักออกแบบในการวิเคราะห์โครงสร้างให้สูงขึ้นเป็นเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่ค่อนข้างมีความถูกต้องเหมาะสมแก่การนำไปใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีและธรณีเทคนิค

[Arun และคณะ, 2020] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเสถียรภาพของลาดดินโดยใช้ โปรแกรมซอฟต์แวร์ GEO5 – SLOPE STABILITY MODULE และ PLAXIS 2D เป็นกรณีศึกษาพื้นที่เนินเขาหรือทางลาดดินที่ขาดเสถียรภาพของดิน เกิดการวิบัติพังทลายของลาดดิน ในพื้นที่เลือกสำรวจถนนรัชชี่ เมืองตฤศูร รัฐเกรละ ประเทศอินเดีย ที่เกิดน้ำท่วมรุนแรงทางตอนใต้ของอินเดีย ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ทั้ง 2 เป็นปัจจัยมาใช้ในการพิจารณาความปลอดภัยสามารถกำหนดอัตราส่วนความต้านทานของกำลังรับแรงเฉือนได้ นำมาพิจารณาความลาดชันของลาดดินพื้นที่ต่างๆได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักการใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ 2 โปรแกรม เป็นการสนับสนุนการแก้ไขปัญหาเสถียรภาพลาดดินของนักออกแบบในพื้นที่ที่ต้องการหาแนวทางป้องกันลาดดินนั้นๆได้

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน โดยโปรแกรม GEOSLOPE 2012 SLOPE/W ใช้หลักการในการโมเดลแบบจำลอง Mohr-Coulomb อาศัยหลักการวิเคราะห์แบบ มอร์เกนสเตริน ไพรส์ (Morgenstern Price) การวิเคราะห์ด้วยหลักการ Morgenstern-Price เป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณความเสถียรของดินในพื้นที่ที่มีหลายชั้นดิน มีการสั่นไหวของดินหรือความลาดเอียงที่ไม่สม่ำเสมอ วิธีนี้ใช้หลักการของการหาสมดุลของแรงในระบบที่มีหลายจุด ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้แม่นยำขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่มีความซับซ้อนหรือมีการเคลื่อนที่หลายทิศทาง ทั้งนี้ยังให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety), ค่าปริมาตรรวม (Total Volume), ค่าน้ำหนักรวม (Total Weight), ค่าความต้านทานรวม (Total Resisting Moment, ค่าน้ำหนักกระทำรวม (Total Activating Moment), แรงต้านทานรวม (Total Resisting Force) และแรงกระทำรวม (Total Activating Force) โปรแกรม GEOSLOPE 2012 SLOPE/W จึงมีความเหมาะสมสะดวกต่อการหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดินในการโมเดลขึ้นรูปและมีความสอดคล้องใกล้เคียงสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติจากการสำรวจข้อมูลลาดดินอีกด้วย

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน โดยโปรแกรม PLAXIS 2D ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงสร้างตาข่าย (Finite Element) เป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ใช้กระบวนการสร้างแบบจำลองทางเรขาคณิตภายใต้การตรวจสอบในพื้นที่ไหนที่แตกต่างใช้กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ความต่อเนื่องในระบบ 2 มิติขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไหนที่แตกต่างในลักษณะที่แสดงเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ผลลัพธ์สามารถนำไปใช้งานได้ เช่น ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, FS) ซึ่งบ่งบอกถึงความเสถียรภาพของลาดดิน, การกระจายของแรงที่กระทำต่อชั้นดิน, การเคลื่อนที่ของดินในแต่ละจุดเพื่อหาความเสี่ยงที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง, ให้ผลการกระจายน้ำและการเปลี่ยนแปลงของน้ำใต้ดินในพื้นที่ได้

ทั้งนี้ยังสามารถโมเดลในงานออกแบบโครงสร้างฐานราก คั่นทางกำแพงกันดินหรือถนนสาธารณะ ฯลฯ ในทางวิศวกรรมปฐพีได้ ช่วยให้ผู้ออกแบบโครงสร้างสะดวกขึ้นอีกด้วย ดังนั้นโปรแกรมซอฟต์แวร์ PLAXIS 2D จึงเป็นซอฟต์แวร์ประเภทหนึ่ง ที่มีความเหมาะสมมาช่วยในการวิเคราะห์รวมทั้งใช้ในการออกแบบโครงสร้างและแก้ไขงานทางด้านวิศวกรรมปฐพีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 ผลการดำเนินงานวิจัย

2.3.1 ลักษณะลาดดินที่เกิดการวิบัติและข้อมูลดินในขอบเขตพื้นที่ศึกษา

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจพื้นที่ที่เกิดการพังทลายของลาดดินทั้งหมด 7 จุดบริเวณวิบัติ ในกรอบแนวเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งได้เลือกลักษณะการพังทลายของลาดดินที่มีความลาดชันมากที่สุด

ข้อมูลเบื้องต้นจากการสำรวจ หนาดินบริเวณตลิ่งลำน้ำคือมวลดินที่ถูกการขุดลอกมาปรับแต่งตลิ่งไม่ได้มีอนุภาคมวลดินที่เหนียวแน่น ตลิ่งที่ไม่มีความเชื่อมั่นแล้วมีลักษณะของดินเป็นดินทราย ทำให้การระบายน้ำของมวลดินความสามารถในการกักเก็บน้ำไม่ค่อยดี การยึดเหนี่ยวของมวลดิน

อาศัยแรงเสียดทานของมวลดิน ทำให้ตลิ่งด้านทานต่อการกัดเซาะของมวลน้ำได้ค่อนข้างน้อย จึงเกิดการพังทลายของหน้าดินตลิ่งลำน้ำ ลักษณะของตลิ่งลำน้ำแบบเป็นตลิ่งแบบผสม ลักษณะของดินประกอบด้วยดินที่มีความเชื่อมแน่นและไม่มีความเชื่อมแน่น วางสลับตัวเป็นชั้นๆหรืออาจจะสลับกัน ทำให้ตลิ่งที่มีลักษณะประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะของมวลน้ำในระดับปานกลางขึ้นอยู่กับลักษณะของดินหรือตะกอนที่ผสม

ในส่วนของคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีการเจาะสำรวจหาข้อมูลคุณสมบัติของดินในแนวเขตที่ดำเนินการสำรวจอยู่แล้ว โดยแบ่งข้อมูลคุณสมบัติของดินตามแนวเขตบริเวณที่มีการเจาะสำรวจเป็น 2 โซน ส่วนของโซนที่ 1 จะอยู่ในบริเวณแนวเขตพื้นที่ศึกษาที่กักจุดเริ่มต้น E 0588981 N 2137062 ใช้เป็นข้อมูลคุณสมบัติของดินใน จุดวิบัติที่ 2 และจุดวิบัติที่ 6 แสดงคุณสมบัติชั้นดินตามตารางที่ 2 กับ ตารางที่ 3 ซึ่งจะมีคุณสมบัติของดินอยู่ 2 ชั้นดิน ตามข้อมูลเจาะสำรวจดิน BORING LOG

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลคุณสมบัติดินใช้ในการวิเคราะห์โซนที่ 1 (ตำแหน่งเจาะสำรวจดินของโครงการขยายเขตประปา หมู่ที่ 6)

ชุดข้อมูลวัสดุชั้นที่ 1 ลักษณะเป็นตะกอนดินทรายสีน้ำตาลมีความยึดเหนี่ยวปานกลาง		
คุณสมบัติ (Property)	หน่วย (Unit)	ค่าคุณสมบัติ (Property)
โมเดลคุณสมบัติวัสดุ	-	มอร์-คูลอมป์ (Mohr-Coulomp)
การระบายน้ำ	-	ระบายน้ำ (Drained)
หน่วยน้ำหนัก γ_{unsat}	KN / m^3	18
หน่วยน้ำหนัก γ_{sat}	KN / m^3	20
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{init}	-	0.5
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{max}	-	1000
ค่าความยืดหยุ่นวัสดุ E_u	KN / m^2	35000
ค่าความเร็วคลื่นเฉือนวัสดุ $V_{(nu)}$	-	0.35
ค่าแรงเฉือนวัสดุ G	KN / m^2	12960
ค่าการอัดตัววัสดุ $E_{oed,u}$	KN / m^2	56170
ค่าความยึดเหนี่ยว $S_{u,ref}$	KN / m^2	-
ค่ามุมแรงเสียดทาน $\phi'_{(phi)}$	o	31
ค่ามุมขยายตัว $\psi'_{(psi)}$	o	-
พฤติกรรมการไม่ระบายน้ำ $V_{(u)}$	-	0.495
พฤติกรรมการไม่ระบายน้ำ $K_{w,ref} / n$	KN / m^2	1253000

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลคุณสมบัติดินใช้ในการวิเคราะห์โซนที่ 1 (ตำแหน่งเจาะสำรวจดินของโครงการขยายเขตประปา หมู่ที่ 6)

ชุดข้อมูลวัสดุชั้นที่ 2 ลักษณะดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มมีความยึดเหนี่ยวมาก		
คุณสมบัติ (Property)	หน่วย (Unit)	ค่าคุณสมบัติ (Property)
โมเดลคุณสมบัติวัสดุ	-	มอร์-คูลอมป์ (Mohr-Coulomp)
การระบายน้ำ	-	ไม่ระบายน้ำ (Undrained)
หน่วยน้ำหนัก γ_{unsat}	KN / m^3	18.8
หน่วยน้ำหนัก γ_{sat}	KN / m^3	18.8

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{init}	-	1
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{max}	-	1000
ค่าความยืดหยุ่นวัสดุ E_u	KN / m^2	6500
ค่าความเร็วคลื่นเฉือนวัสดุ $V_{(nu)}$	-	0.495
ค่าแรงเฉือนวัสดุ G	KN / m^2	2174
ค่าการอัดตัววัสดุ $E_{oed,u}$	KN / m^2	219600
ค่าความยึดเหนี่ยว $S_{u,ref}$	KN / m^2	343
ค่ามุมแรงเสียดทาน $\phi'_{(phi)}$	o	-
ค่ามุมขยายตัว $\psi'_{(psi)}$	o	-

ในส่วน of โซนที่ 2 จะอยู่ในช่วงพิกัดจุดสิ้นสุด E 0588987 N 2137892 ใช้เป็นข้อมูลคุณสมบัติของดินใน จุดวิบัติที่ 1,จุดวิบัติที่ 3, จุดวิบัติที่ 4,จุดวิบัติที่ 5และจุดวิบัติที่ 7 ของแนวเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัย แสดงคุณสมบัติชั้นดินตามตารางที่ 4 ตารางที่ 5และตารางที่ 6 ซึ่งจะมีคุณสมบัติของดินอยู่ 3 ชั้นดิน ตามข้อมูลเจาะสำรวจดิน BORING LOG

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลคุณสมบัติดินใช้ในการวิเคราะห์โซนที่ 2 (ตำแหน่งเจาะสำรวจดินของโครงการขยายเขตประปา หมู่ที่ 8)

ชุดข้อมูลวัสดุชั้นที่ 1 ลักษณะตะกอนดินทรายสีน้ำตาลมีความยึดเหนี่ยวปานกลาง		
คุณสมบัติ (Property)	หน่วย (Unit)	ค่าคุณสมบัติ (Property)
โมเดลคุณสมบัติวัสดุ	-	มอร์-คูลอมป์ (Mohr-Coulomp)
การระบายน้ำ	-	ระบายน้ำ (Drained)
หน่วยน้ำหนัก γ_{unsat}	KN / m^3	18.2
หน่วยน้ำหนัก γ_{sat}	KN / m^3	20
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{init}	-	0.5
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{max}	-	1000
ค่าความยืดหยุ่นวัสดุ E'	KN / m^2	35000
ค่าความเร็วคลื่นเฉือนวัสดุ $V'_{(nu)}$	-	0.35
ค่าแรงเฉือนวัสดุ G	KN / m^2	12960
ค่าการอัดตัววัสดุ E_{oed}	KN / m^2	56170
ค่าความยึดเหนี่ยว $c'_{(ref)}$	KN / m^2	-
ค่ามุมแรงเสียดทาน $\phi'_{(phi)}$	o	31
ค่ามุมขยายตัว $\psi'_{(psi)}$	o	-
พฤติกรรมการไม่ระบายน้ำ $V_{(u)}$	-	0.495
พฤติกรรมการไม่ระบายน้ำ $K_{w,ref} / n$	KN / m^2	1253000

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลคุณสมบัติดินใช้ในการวิเคราะห์โซนที่ 2 (ตำแหน่งเจาะสำรวจดินของโครงการขยายเขตประปา หมู่ที่ 8)

ชุดข้อมูลวัสดุชั้นที่ 2 ลักษณะดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มมีความยึดเหนี่ยวมาก		
คุณสมบัติ (Property)	หน่วย (Unit)	ค่าคุณสมบัติ (Property)
โมเดลคุณสมบัติวัสดุ	-	มอร์-คูลอมป์ (Mohr-Coulomp))
การระบายน้ำ	-	ไม่ระบายน้ำ (Undrained)
หน่วยน้ำหนัก γ_{unsat}	KN / m^3	18.4
หน่วยน้ำหนัก γ_{sat}	KN / m^3	18.4

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{init}	-	1
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{max}	-	1000
ค่าความยืดหยุ่นวัสดุ E_u	KN / m^2	6500
ค่าความเร็วคลื่นเฉือนวัสดุ $V_{(nu)}$	-	0.495
ค่าแรงเฉือนวัสดุ G	KN / m^2	2174
ค่าการอัดตัววัสดุ $E_{oed,u}$	KN / m^2	219600
ค่าความยึดเหนี่ยว $c'_{(ref)}$	KN / m^2	100
ค่ามุมแรงเสียดทาน $\phi'_{(phi)}$	0	-
ค่ามุมขยายตัว $\psi_{(psi)}$	0	-

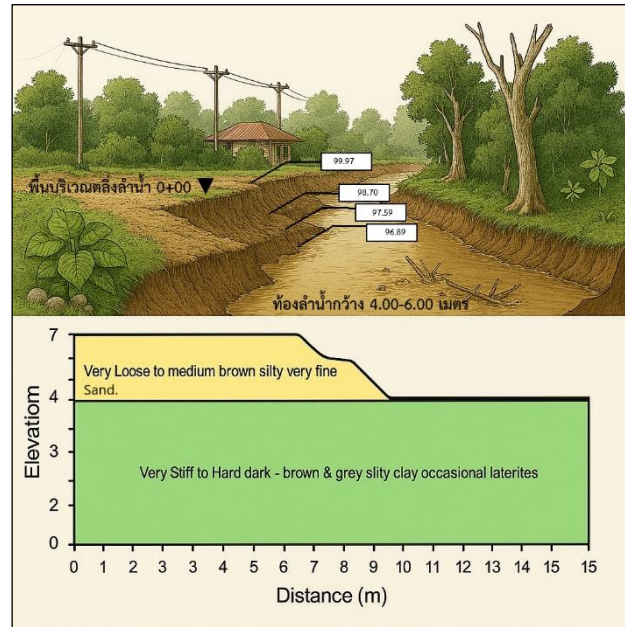
ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลคุณสมบัติดินใช้ในการวิเคราะห์โซนที่ 2 (ตำแหน่งจะสำรวจดินของโครงการขยายเขตประปา หมู่ที่ 8)

ชุดข้อมูลวัสดุชั้นที่ 3 ลักษณะดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มมีความยึดเหนี่ยวมาก		
คุณสมบัติ (Property)	หน่วย (Unit)	ค่าคุณสมบัติ (Property)
โมเดลคุณสมบัติวัสดุ	-	มอดูลอม (Mohr-Coulomp)
การระบายน้ำ	-	ไม่ระบายน้ำ (Undrained)
หน่วยน้ำหนัก γ_{unsat}	KN / m^3	18.5
หน่วยน้ำหนัก γ_{sat}	KN / m^3	18.5
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{init}	-	1
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว e_{max}	-	1000
ค่าความยืดหยุ่นวัสดุ E_u	KN / m^2	6500
ค่าความเร็วคลื่นเฉือนวัสดุ $V_{(nu)}$	-	0.495
ค่าแรงเฉือนวัสดุ G	KN / m^2	2174
ค่าการอัดตัววัสดุ $E_{oed,u}$	KN / m^2	219600
ค่าความยึดเหนี่ยว $S_{u,ref}$	KN / m^2	125
ค่ามุมแรงเสียดทาน $\phi'_{(phi)}$	0	-
ค่ามุมขยายตัว $\psi_{(psi)}$	0	-

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจำเป็นต้องพิจารณาทั้งกรณีการระบายน้ำ (Drained) และไม่ระบายน้ำ (Undrained) เพราะมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของดินและค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of safety) เนื่องจากสภาพความเป็นจริงของเหตุการณ์หรือการก่อสร้าง พฤติกรรมของดินขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักระหว่างความสามารถในการระบายน้ำ

กรณีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นฉับพลัน เช่นการเกิดพิบัติภัยที่ การถมดินด้วยความรวดเร็วหรือขุดดินอย่างรวดเร็วแล้วมีลักษณะดินจัดอยู่ในประเภทดินเหนียว ความสามารถในการระบายน้ำช้า ก็จะพิจารณาแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained) ซึ่งจะใช้ค่า Undrained Shear Strength, S_u

กรณีกระบวนการที่ค่อนข้างใช้เวลานานพอที่น้ำสามารถระบายได้ มีลักษณะดินจัดอยู่ในประเภทดินทรายหรือกรวดซึ่งมีความสามารถในการระบายน้ำได้เร็ว ก็จะพิจารณาแบบระบายน้ำ (Drained) ซึ่งจะใช้ค่า C_N, ϕ' (effective stress parameters)



รูปที่ 6 ภาพบนแสดงภาพเสมือนลาดดินวิบัติ ภาพล่างคือภาพโมเดลจากโปรแกรม GEOSLOPE 2012 SLOPE/W อ้างอิงข้อมูลจากการสำรวจจุดวิบัติที่ 2

ในส่วนข้อมูลดินตามข้อมูลเจาะสำรวจดิน BORING LOG ข้อมูลดินในโซนที่ 1 จะมีอยู่ 2 ชั้นดิน โดยชั้นดินที่ 1 มีความลึกลงไปจากผิวดินเดิม 2.50 เมตร ลักษณะเป็นตะกอนดินทรายสีน้ำตาลมีความยึดเหนี่ยวปานกลาง ส่วนชั้นดินที่ 2 มีความลึกลงไปจากระดับผิวดินที่ลึกกว่า 2.50 เมตร ถึง 9.45 เมตร ลักษณะดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มมีความยึดเหนี่ยวมาก ที่ใช้ในโมเดลจุดวิบัติที่ 2 กับจุดวิบัติที่ 6

วิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติชั้นดินที่ 1 (Very Loose to medium brown silty very fine sand)

$$h_w(m) = \text{ระดับชั้นดินที่พิจารณา} - \text{ระดับน้ำสูงสุด} = 2.50 - 1 = 1.50 \text{ เมตร}$$

$$\sigma'_{vo}(t/m^2) \text{ Effective Overburden Pressure} = [\sum \gamma_i h_i] - \gamma_w h_w$$

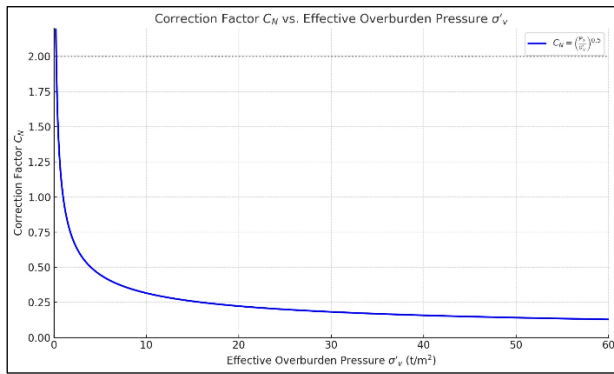
$$\gamma_i(t/m^3) \text{ หน่วยน้ำหนักดินจาก BORING LOG}$$

$$h_i(m) \text{ ระดับความลึกชั้นดิน}$$

$$\gamma_w(t/m^3) \text{ หน่วยน้ำหนักของน้ำ}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{vo}(t/m^2) &= [\sum \gamma_i h_i] - \gamma_w h_w \\ &= [1.80 \times 2.50] - [1.00 \times 2.00] = 2.00 \end{aligned}$$

C_N (Correction Factor) ค่าได้จากกราฟ (H.B. Seed และ I.M. Idriss, 1971) ใช้ประเมินค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากผลการทดสอบ SPT (Standard Penetration Test) = 1.25



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ความดันจากน้ำหนักดินที่มีผลต่อชั้นดิน Effective Overburden Pressure σ'_{v0} (t/m^2) กับ Correction Factor, C_N

ϕ' มุมเสียดทานภายในของดินทราย ค่าได้จากกราฟ [Peck, Hanson และ Thornburn, 1974] ซึ่งใช้การปรับค่า N (blows / ft.) ด้วย Correction Factor, C_N เพื่อหาค่า N'

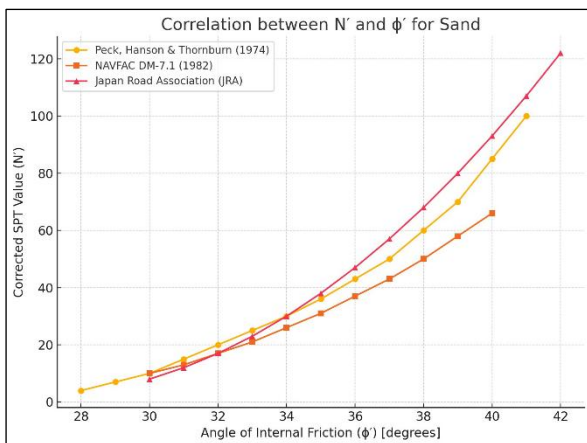
N (blows / ft.) Standard penetration test.

$$= [(12+8+5)/3] = 8.33$$

$$\text{ดังนั้น } N' = C_N \times N$$

$$= 1.85 \times 8.33 = 10.41$$

ϕ' (มุมเสียดทานภายในของดินทราย) ประมาณ 30



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ มุมแรงเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction), ϕ' กับค่า N' หรือค่า SPT ที่ถูกปรับแล้ว (Corrected SPT Value)

วิเคราะห์หาคูณสมบัติชั้นดินที่ 2 (Very Stiff to Hard dark – brown & grey silty clay occasional laterites.)

คำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน (Bearing Capacity) โดยคำนวณหา Undrained Shear Strength, S_u ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับ Unconfined Compressive Strength Q_u โดยมีความสัมพันธ์ $S_u = \frac{Q_u}{2}$

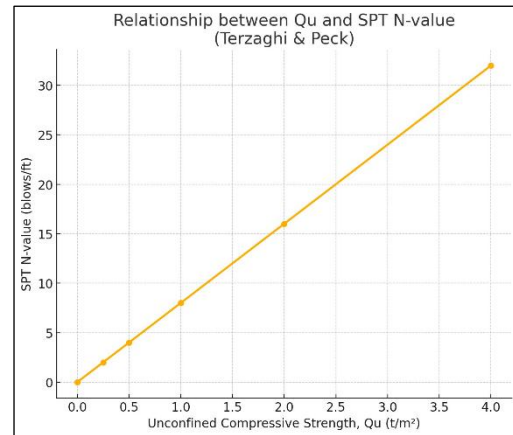
หาค่า Q_u ได้จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า N (blows / ft.)

กับ Q_u สำหรับดินเหนียว (Terzaghi และ Peck, 1967)

$$N \text{ (blows / ft.)} = [(31+30+28+41+80+95)/6] = 50.83$$

$$Q_u = 70$$

$$\text{ดังนั้น } S_u = 35 \text{ (t/m}^2\text{)}$$



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ ค่าความแข็งแรงแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength, Q_u) หน่วย t/m^2 กับค่าผลการทดสอบ SPT (Standard Penetration Test, N) หน่วย blow/ft

ในส่วนข้อมูลดินตามข้อมูลเจาะสำรวจดิน BORING LOG ข้อมูลดินในโซนที่ 2 จะมีอยู่ 3 ชั้นดิน โดยชั้นดินที่ 1 มีความลึกลงไปจากผิวดินเดิม 1.40 เมตร ลักษณะตะกอนดินทรายสีน้ำตาลมีความยึดเหนี่ยวปานกลาง ส่วนชั้นดินที่ 2 มีความลึกลงไปจากระดับผิวดินที่ลึกกว่า 1.40 เมตรถึง 3.50 เมตร ลักษณะดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มมีความยึดเหนี่ยวมาก ส่วนชั้นดินที่ 3 มีความลึกลงไปจากระดับผิวดินที่ลึกกว่า 3.50 เมตรถึง 6.45 เมตร ลักษณะดินเหนียวปนทรายมีความหนาแน่นปานกลางสีเหลืองแกมน้ำตาล ถึงเทาอ่อนที่ใช้ในโมเดลจุดวิบัติที่ 1, จุดวิบัติที่ 3, จุดวิบัติที่ 4, จุดวิบัติที่ 5 และจุดวิบัติที่ 7

วิเคราะห์หาคูณสมบัติชั้นดินที่ 1 (Loose brown clayey silt and very fine sand)

$$h_w \text{ (m)} = 1.40 - 0.50 = 0.90 \text{ เมตร}$$

$$\sigma'_{v0} \text{ (t/m}^2\text{)} = [\sum \gamma_i h_i] - \gamma_w h_w = [1.82 \times 1.40] - [1 \times 0.90] = 1.648$$

$$C_N = 1.575$$

$$N \text{ (blows / ft.)} = 9$$

$$N' = C_N \times N = 1.575 \times 9 = 14.17$$

ดังนั้น ϕ' (มุมเสียดทานภายในของดินทราย) ประมาณ 31

วิเคราะห์หาคูณสมบัติชั้นดินที่ 2 (Stiff to very stiff reddish-brown & grey silty clay)

$$N \text{ (blows / ft.)} = [(9+14+21)/3] = 14.66$$

$$Q_u = 20$$

$$\text{ดังนั้น } S_u = 10 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

วิเคราะห์หาคูณสมบัติชั้นดินที่ 3 (Stiff to yellowish-brown & ligrey silty clay)

$$N \text{ (blows / ft.)} = [(17+18+35)/3] = 23.33$$

$$Q_u = 30$$

$$\text{ดังนั้น } S_u = 15 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

2.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ทั้ง 7 จุดวิบัติ โดยผ่านโปรแกรม ซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 slope/w และโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D

จากการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดิน
ทั้งหมด 7 จุดวิบัติ ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 Slope/w

จุดวัดปีที่ 1 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.585 อยู่ในช่วงที่ไม่มีการระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีการระดับน้ำ 1.50 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.555 ในช่วงที่มีการระดับน้ำมากกว่า 1.00 เมตร

จุดวิกฤติที่ 2 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.639 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 1.00 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.592 ในช่วงที่ระดับน้ำมากกว่า 2.25 เมตร

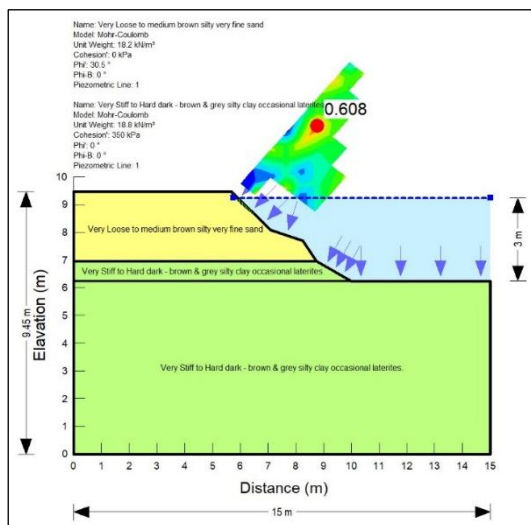
จุดวัดที่ 3 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.839 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 1.50 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.833 ในช่วงที่ระดับน้ำมากกว่า 2.75 เมตร

จุดวัดที่ 4 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.875 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 1.50 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.854 ในช่วงที่ระดับน้ำมากกว่า 2.75 เมตร

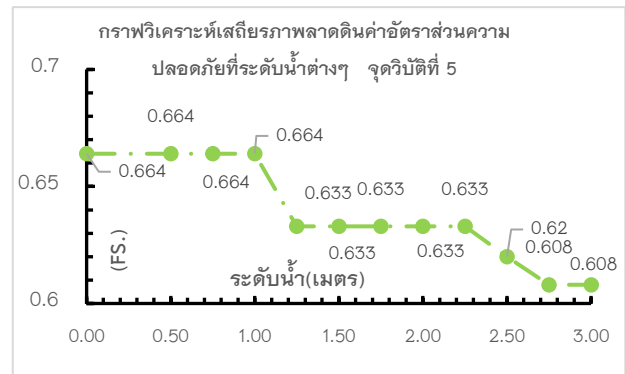
จุดวัดที่ 5 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.664 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 1.00 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.608 ในช่วงที่ระดับน้ำมากกว่า 2.75 เมตร

จุดวัดที่ 6 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.684 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 2.00 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.670 ในช่วงที่ระดับน้ำมากกว่า 3.25 เมตร

จุดวัดที่ 7 มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด 0.898 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 0.75 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยสุดอยู่ที่ 0.894 ในช่วงที่ระดับน้ำมากกว่า 1.25 เมตร



รูปที่ 10 ตัวอย่างโมเดลการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของเสถียรภาพลาด
ดิน ณ จุดวัดปีที่ 5 ที่ระดับน้ำ 3.00 เมตร ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope
2012 slope/w



รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ระดับน้ำต่างๆ ณ จุดวัดที่ 5 ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 slope/w

จากการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดิน
ทั้งหมด 7 จุดวิบัติ ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D

จุดวิกฤติที่ 1 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 1.50 เมตร มีค่าความปลอดภัย 0.540 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 2.25 เมตร ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1.153

จุดวิกฤติที่ 2 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 0.00 เมตร มีค่าความปลอดภัย 0.581 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 2.25 เมตร ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1.149

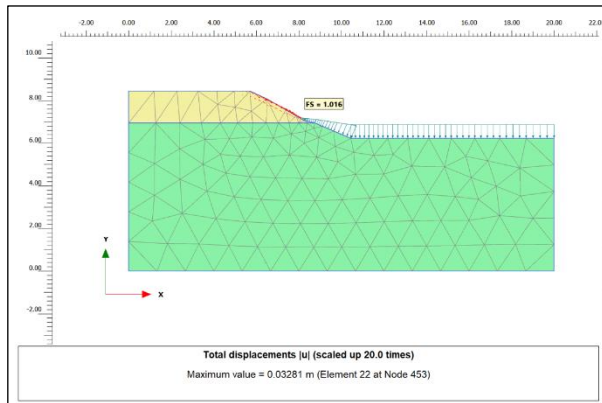
จุดวิกฤติที่ 3 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 2.50 เมตร มีค่าความปลอดภัย 0.699 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 0.25 เมตร ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1.033

จุดวิกฤติที่ 4 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 1.75 เมตร มีค่าความปลอดภัย 0.571 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 1.00 เมตร ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1.034

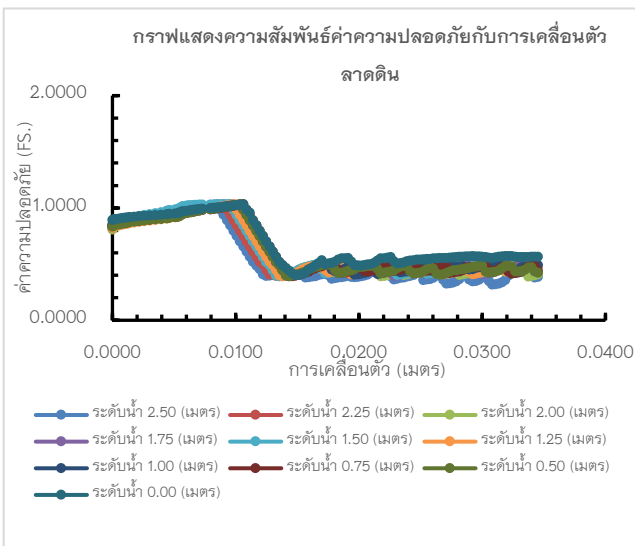
จุดวิกฤติที่ 5 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 1.00 เมตร มีค่าความปลอดภัย 0.598 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 0.00 เมตร ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1.121

จุดวิกฤติที่ 6 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด คือช่วงที่ระดับน้ำ 2.50 เมตร มีความปลอดภัย 0.386 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด ที่ระดับน้ำ 0.00 เมตร ซึ่งมีความปลอดภัย 1.029

จุดวิกฤติที่ 7 กรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุด ที่ระดับน้ำ 2.00 เมตร มีค่าความปลอดภัย 0.890 ส่วนกรณีที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากที่สุด ที่ระดับน้ำ 0.00 เมตร ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1.037

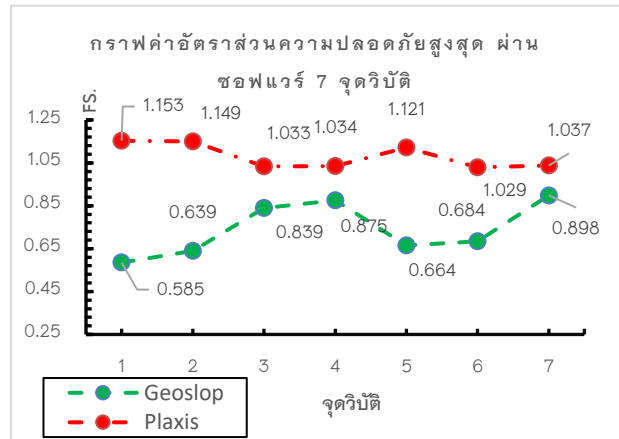


รูปที่ 12 ตัวอย่างโมเดลการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดิน ณ จุดวิบัติที่ 5 ที่ระดับน้ำ 1.00 เมตร ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D

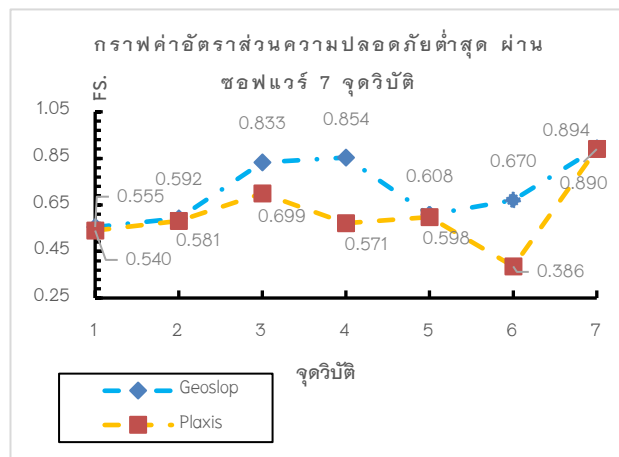


รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน ณ จุดวิบัติที่ 6 โดยผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินทั้งหมด 7 จุดวิบัติผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 Slope/w กับโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D ในการวิเคราะห์ผลค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, FS) สูงสุดกับต่ำสุดในแต่ละ 7 จุดวิบัติ แนวโน้มทั่วไปค่าที่วิเคราะห์ได้ผ่านโปรแกรม Plaxis 2D มีค่าค่อนข้างคงที่และสูงกว่าค่าจาก โปรแกรม Geoslope 2012 Slope/w ในทุกจุด ดังนั้นในการประเมินผ่าน โปรแกรม Plaxis 2D เป็นแบบ Finite Element Method (FEM) ซึ่งสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมดินที่ซับซ้อนได้มากกว่า อาจให้ค่าความปลอดภัยสูงกว่า เพราะคำนวณความเค้นเสียรูปได้ละเอียด ส่วนโปรแกรม Geoslope 2012 Slope/W ใช้วิธีจำลองแบบ Limit Equilibrium Method (LEM) ซึ่งแม้จะใช้กันแพร่หลาย แต่มีข้อจำกัดในการพิจารณาความเค้นจริงในมวลดิน



รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูงสุด ใน 7 จุดวิบัติ ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 Slope/w และผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D



รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด ใน 7 จุดวิบัติ ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 Slope/w และผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D

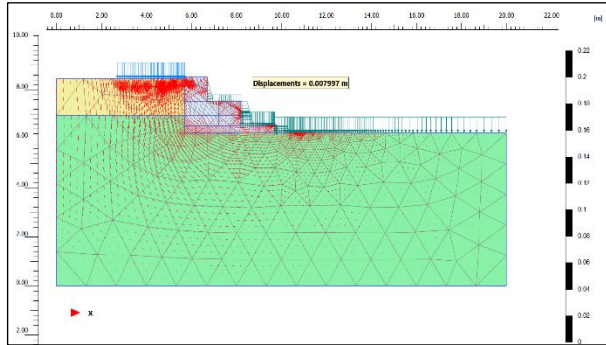
2.3.3 ผลการวิเคราะห์การเสริมกล่งเกเบียนเรียงหิน (GABIONS)

จากการวิเคราะห์การเสริมกล่งเกเบียนเรียงหินโดยเลือกวิเคราะห์ จุดวิบัติที่ 5 ซึ่งเป็นจุดวิบัติที่ส่งผลกระทบจากความเสียหายมากที่สุด ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะดำเนินการตามลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง จำลองตามลักษณะงานก่อสร้างจริง ซึ่งการวิเคราะห์นี้แบ่งเป็น 6 ขั้นตอน โดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D

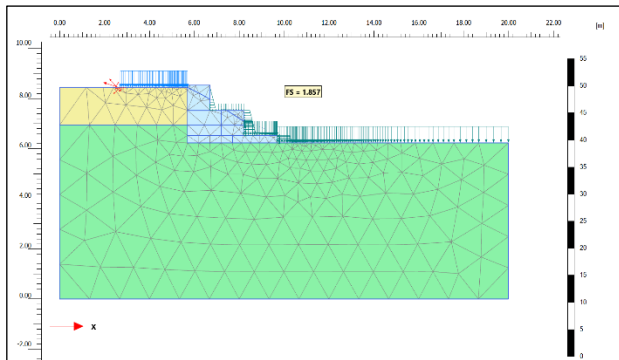
วิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินก่อนการเสริมกล่งเกเบียนเรียงหิน ผลการวิเคราะห์กรณีที่วิกฤตที่สุด ค่าความปลอดภัย 1.016 ที่ระดับน้ำ 1.00 เมตร อัตราแรงกระทำจากน้ำต่อเสถียรภาพลาดดิน 1,411.00 กิโลกรัมต่อเมตร น้ำหนักกระทำจากคุณสมบัติ 3,968.80 กิโลกรัมต่อเมตร ค่าการเคลื่อนตัว 0.01413 เมตร

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินจุดวิบัติที่ 5 กรณีที่วิกฤตที่สุด อัตราแรงกระทำจากน้ำต่อเสถียรภาพลาดดิน 1,411.00 กิโลกรัมต่อเมตร น้ำหนักกระทำจากคุณสมบัติ 3,968.80 กิโลกรัมต่อเมตร ค่าการเคลื่อนตัว 0.007997 เมตร ซึ่งก็ไม่ได้เกิดจาก

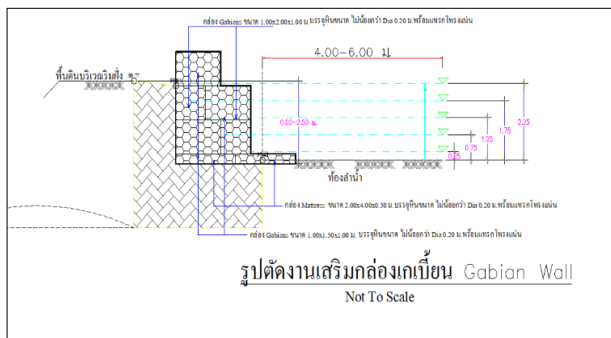
การเคลื่อนตัวที่พังทลายแต่เป็นการเคลื่อนตัวจากน้ำหนักโหลดกระทำ หลังจากการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน มีค่าความปลอดภัย 1.857 ซึ่งมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน



รูปที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน ขณะทำการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหินในชั้นบนสุด



รูปที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดินหลังเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน



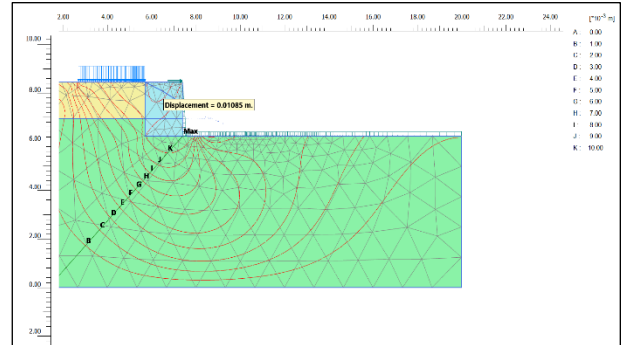
รูปที่ 18 แสดงแบบรูปรายการก่อสร้าง รูปตัดการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน ในจุดวิบัติ ที่ 5 โดยเสริมกล่องเกเบียนบรรจุเรียงหินที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.857 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงนำมาจัดทำแบบรูปรายการก่อสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างให้เกิดประโยชน์สูงสุด

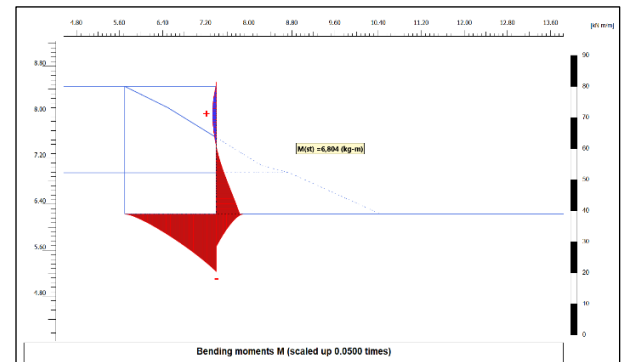
2.3.4 ผลการวิเคราะห์การเสริมกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (CONCRETE RETAINING WALL)

จากการวิเคราะห์การเสริมกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก ในจุดวิบัติที่ 5 ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D โดยมีส่วนของโครงสร้างฐานกำแพงกันดินความยาว 2.20 เมตร ตัวผนังกำแพงกันดินมีความสูงจากฐาน 2.30

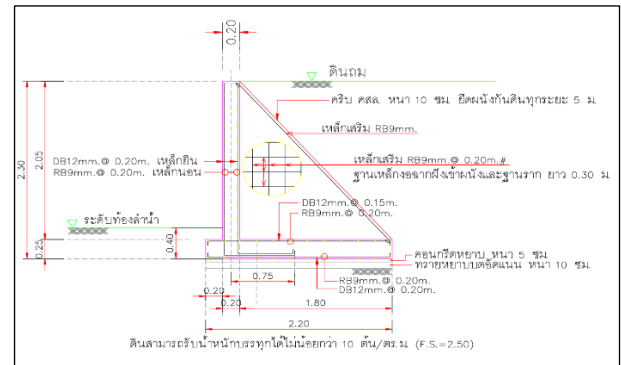
เมตร แล้วปริมาณดินถมในช่วงของฐานกำแพงกันดินถึงผนังกำแพงกันดิน มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.798 มีการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.01085 เมตร



รูปที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวหลังเสริมกำแพงกันดินหลังเสริมกำแพงกันดิน



รูปที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างผนังกำแพงกันดิน



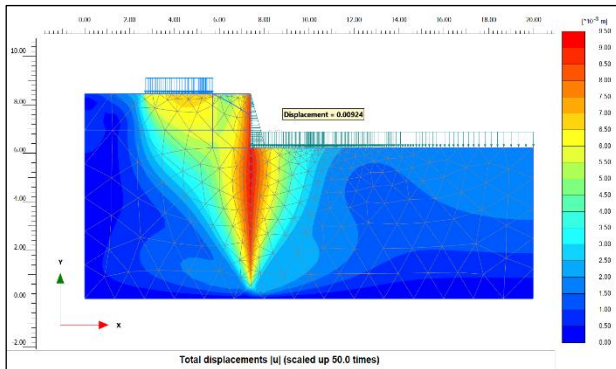
รูปที่ 21 แสดงแบบรูปรายการก่อสร้าง รูปตัดการเสริมเหล็กกำแพงกันดิน

การวิเคราะห์ห่อครวมทั้งหมดของโครงสร้างกำแพงกันดินโมเมนต์ที่เกิดขึ้น 6,804.00 กิโลกรัมต่อเมตร แรงเฉือนที่เกิดขึ้น 3,812.00 กิโลกรัม ในจุดวิบัติ ที่ 5 โดยเสริมกำแพงกันดินมีความปลอดภัย 1.798 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แบบรูปรายการก่อสร้างที่ได้คำนวณเสริมเหล็กกำแพงกันดิน

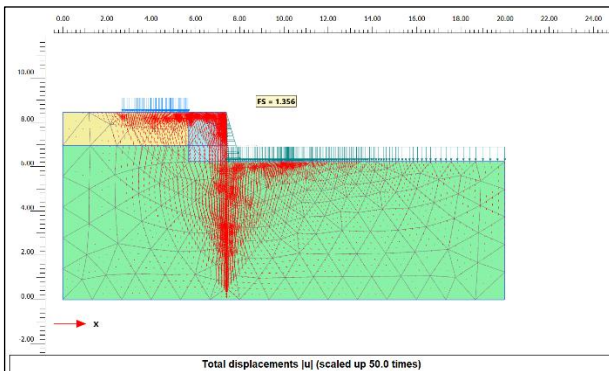
2.3.5 ผลการวิเคราะห์เสาเข็มกันดิน (เสาเข็มตอก)

จากการวิเคราะห์เสาเข็มกันดิน (เสาเข็มตอก) ในจุดวิบัติที่ 5 ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Plaxis 2D โดยมีส่วนของโครงสร้างเสาเข็ม ความยาวเสาเข็มฝังลงดิน 6.00 เมตร หน้าตัดเสาเข็มขนาด 0.35x0.35 เมตร โดยมีระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นอยู่ที่ 1.00 เมตร ผลการวิเคราะห์ห่อครวม

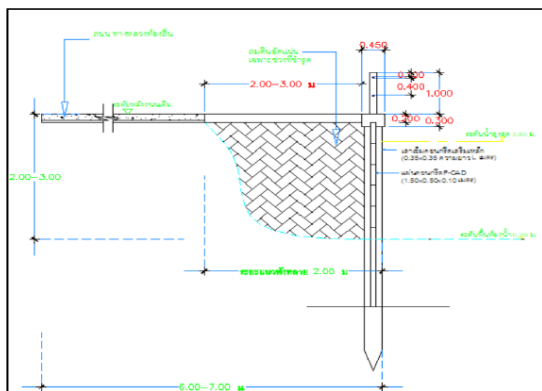
อัตราส่วนความปลอดภัย 1.356 การเคลื่อนตัวของเสาเข็มกันดิน (ในแนวแกน x) ค่าเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.00000516 เมตรการเคลื่อนตัวของเสาเข็มกันดิน (ในแนว แกน Y) ค่าเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.0000167 เมตร องค์ประกอบรวมโครงสร้างมีค่าการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.00924 เมตร



รูปที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน หลังทำการเสริมเสาเข็มกันดิน



รูปที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดดินหลังทำการเสริมเสาเข็มกันดิน



รูปที่ 24 แสดงแบบรูปรายการก่อสร้าง รูปตัดการเสริมเสาเข็มกันดิน (เสาเข็มตอก)

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน ในจุดวิบัติ ที่ 5 โดยเสริมเสาเข็มกันดิน(เสาเข็มตอก) ที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.356 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงนำมาจัดทำแบบรูปรายการก่อสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน (Gabion Wall) ข้อดีระบายน้ำได้ดีมีช่องว่างระหว่างหินช่วยให้ระบายน้ำได้ ลดแรงดันน้ำด้านหลัง ก่อสร้างง่ายรวดเร็วไม่ต้องใช้อุปกรณ์หนักมาก สามารถใช้แรงงานกับเครื่องจักรทั่วไปได้ เหมาะกับพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวของดินหรือดินทรุด สามารถปลูกหญ้าหรือไม้คลุมดินบนกล่องหินได้ ข้อเสียไม่เหมาะกับพื้นที่สูงหรือแรงดันดินมาก: ความมั่นคงจำกัดที่ระดับความสูง อายุการใช้งานต่ำกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กตะแกรงอาจเป็นสนิมเมื่อเวลาผ่านไปใช้โครงสร้างใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก

วิธีการตอกเสาเข็มกันดิน (เสาเข็มตอก) ข้อดีเหมาะกับพื้นที่ลาดชันสูงแรงดันดินมากมีความมั่นคงและรับแรงได้ดีช่วยด้านการเคลื่อนตัวของดินแนวราบป้องกันการทรุดหรือเลื่อนได้ดีมากใช้งานได้กับดินอ่อน ช่วยถ่ายแรงลงชั้นดินแข็งลึกลงไป ข้อเสียต้นทุนสูง ค่าวัสดุและเครื่องจักรในการตอกเสาเข็มสูงก่อสร้างยากในพื้นที่จำกัด ต้องใช้พื้นที่เพียงพอสำหรับเครื่องจักรตอกเสาเกิดการสั่นสะเทือนและเสียงดังอาจรบกวนอาคารหรือชุมชนใกล้เคียง

วิธีการเสริมกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Retaining Wall) ข้อดีรับแรงได้สูงเหมาะกับลาดชันและแรงดันดินสูงทนทาน อายุการใช้งานยาวนานคอนกรีตเสริมเหล็กมีความแข็งแรง ทนต่อสภาพอากาศ ข้อเสียต้องมีระบบระบายน้ำที่ดี หากไม่มีท่อระบาย อาจเกิดแรงดันน้ำสะสมด้านหลังดันดันการก่อสร้างสูงต้องใช้วัสดุและแรงงานที่มีทักษะ โครงสร้างแข็งไม่ยืดหยุ่นอาจเกิดการแตกร้าวเมื่อดินเคลื่อนตัว

จากการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 3 รูปแบบ ในจุดวิบัติที่ 5 โดยการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.857 มากที่สุด ส่วนการเสริมกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.798 และการเสริมเสาเข็มกันดิน มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.356

ปัจจุบันได้ดำเนินการก่อสร้างในจุดวิบัติที่ 5 โดยการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหินซึ่งช่วยป้องกันเสถียรภาพลาดดินตลิ่งโดยลดการกัดเซาะของน้ำสามารถรับแรงกระทำจากปริมาณน้ำปล่อยได้ดีและป้องกันการพังทลายของตลิ่งลำน้ำได้ดี



รูปที่ 25 ลักษณะการพังทลายของตลิ่งลำน้ำในจุดวิบัติที่ 5



รูปที่ 26 รูปขณะดำเนินการเสริมโครงสร้างกล่องเกเบียนเรียงหินในจุดวิบัติที่ 5

3. บทสรุป

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินที่เกิดการพังทลายของลาดดินตลิ่งลำน้ำแม่ปืม ตำบลแม่ใจ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา โดยสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะลาดดินในพื้นที่ศึกษา มีทั้งหมด 7 จุดพื้นที่วิบัติ ในแนวเขตตำบลแม่ใจ โดยจุดเริ่มต้นพิกัด E 0588981 N 2137062 สิ้นสุดเขต พิกัดจุดสิ้นสุด E 0588987 N 2137892 นำโปรแกรมซอฟต์แวร์มาวิเคราะห์ประเมินเสถียรภาพลาดดินหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย โดยผ่านโปรแกรม Geoslope 2012 slope/w ใช้หลักการในการโมเดลแบบจำลอง Mohr-Coulomb อาศัยหลักการวิเคราะห์วิธี มอร์แกนสตรีนไพรส์ จำลองแบบ(Limit Equilibrium Method (LEM)) และโปรแกรม PLAXIS 2D ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงสร้างตาข่าย (Finite Element Method (FEM))

ผลการศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินทั้ง 7 จุดวิบัติ ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 slope/w พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด 0.555 ณ จุดวิบัติที่ 1 กรณีที่ระดับน้ำ 1.00 เมตร ส่วนค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่สูงที่สุด 0.898 ณ จุดวิบัติที่ 7 อยู่ในช่วงที่ไม่มีระดับน้ำ ถึง ช่วงที่มีระดับน้ำ 1.50 เมตร และในการศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินทั้ง 7 จุดวิบัติ ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ PLAXIS 2D พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด 0.386 มีค่าการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.0345 เมตร กรณีที่มีระดับน้ำ 2.50 เมตร ณ จุดวิบัติที่ 6 ส่วนค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่สูงที่สุด 1.153 มีค่าการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.430 เมตร กรณีที่ระดับน้ำ 2.25 เมตร ณ จุดวิบัติที่ 1

จากการศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินผ่านโปรแกรมทั้ง 2 ซอฟต์แวร์ มีแนวโน้มในการหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไปในทิศทางเดียวกันที่ระดับน้ำต่างๆ ในส่วนโปรแกรมซอฟต์แวร์ Geoslope 2012 slope/w เหมาะกับการใช้งานทั่วไปหรือต้องการผลลัพธ์เบื้องต้นไปวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว เช่น เชื่อนดิน ถนน และประเมินเสถียรภาพลาดดินได้ ในโปรแกรมซอฟต์แวร์ PLAXIS 2D สามารถวิเคราะห์แรงกระทำในกรณีที่เกิดวิกฤตได้ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์พลศาสตร์ การเปลี่ยนรูป และพฤติกรรมดินอย่างละเอียด โดยเฉพาะในกรณีซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์

ชั้นดินหลายชั้นพร้อม groundwater flow, consolidation, และแรงกระทำจากโครงสร้าง แล้วพบว่า PLAXIS 2D สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันเสถียรภาพลาดดินที่เกิดการพังทลายได้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันเสถียรภาพลาดดิน 2 วิธี ผ่านโปรแกรมซอฟต์แวร์ PLAXIS 2D โดยเลือกวิเคราะห์ จุดวิบัติที่ 5 กรณีที่วิกฤตที่สุดก่อนการเสริมโครงสร้าง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.121 ที่ระดับน้ำ 1.00 เมตร ค่าการเคลื่อนตัว 0.01413 เมตร วิธีที่ 1 วิเคราะห์การเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน หลังจากการเสริมโครงสร้าง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.857 ค่าการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.007997 เมตร วิธีที่ 2 การเสริมกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังจากการเสริมโครงสร้าง มีค่าความปลอดภัย 1.798 ค่าการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.01085 เมตร และวิธีที่ 3 การเสริมเสาเข็มกันดิน (เสาเข็มตอก) ผลการวิเคราะห์มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.356 มีค่าการเคลื่อนตัวของเสถียรภาพลาดดิน 0.00924 เมตร

ทั้งนี้ในการเลือกใช้โครงสร้างเป็นแนวป้องกันเสถียรภาพลาดดินขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ ความเหมาะสมในการก่อสร้างที่ใช้ประกอบในการตัดสินใจเลือกแนวป้องกันเสถียรภาพลาดดิน ในส่วนจุดวิบัติต่างๆในงานวิจัยนี้ ถ้าจะต้องเลือกใช้โครงสร้างควรจะเป็นการเสริมกล่องเกเบียนเรียงหิน (Gabion Wall) ตามผลการวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 27 รูปหลังดำเนินการเสริมโครงสร้างกล่องเกเบียนเรียงหินในจุดวิบัติที่ 5



รูปที่ 28 รูปปัจจุบันหลังก่อสร้างแล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] เสวต ประกายรุ่งรศมี, วิชัย พันธนะศิริ และชาลี นาวานุเคราะห์. (2550). การวิเคราะห์การชะล้างพังทลายของดิน โดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) เพื่อประเมินการสูญเสียธาตุอาหารพืชในลุ่มน้ำห้วยแม่ประจัน. วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.
- [2] Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., 1978. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, Washington, D.C.
- [3] K. U. Arun, P. Jisna, Rose Simon, Oshin Ann Mathews, E. M. Anju, (2020). **A Comparison Study on Stability of Kuranchery Slopes Using GEO5 and PLAXIS 2D Software**, Research Scholar, Department of Civil Engineering, IES College of Engineering, Thrissur, India สืบค้นจาก International Journal of Research in Engineering, Science and Management, 323-326.
- [4] F. Imanshoar, M. R. M. Tabatabai, Y. Hassanzadeh and M. Rostampoor, (2012). **Experimental Study of Subsurface Erosion in River Banks**. World Academy of Science, Engineering and Technology. V1:6, 664-668.
- [5] S. Thongchart, V. Sooksatra and S. Sorulump, (2007). **Influence of Uncertainty in Soil Parameters to Factor of Safety along Mekong Riverbank**, Doctoral Candidate, Assistant Professor, Department of civil and environment engineering Rangsit University, Phatum Thani, 12000, Thailand.
- [6] อธิษฐ์ ธีรพัฒน์, วรพงษ์ โล่ห์ไพศาลฤกษ์. (2563). **การสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าสำหรับน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่เมืองป่าไม้ จังหวัดขอนแก่น**. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- [7] Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). **Foundation engineering (2nd ed.)**. New York: Wiley.
- [8] Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). **Soil mechanics in engineering practice (2nd ed.)**. New York: Wiley.
- [9] Suttisak Sorulump, Kobid Panthi, Suriyon Prempramote., (2021). **Assessment of the upstream slope failure of a dam due to repeated cyclic drawdown**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. สืบค้นจาก Available online at www.sciencedirect.com
- [10] Amanuel Zewdu. (2020). **Modeling the slope of embankment dam during static and dynamic stability analysis: a case study of Koga dam, Ethiopia**. Modeling Earth Systems and Environment (2020) 6:1963–1979 สืบค้นจาก <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-020-00832-8>
- [11] Suhail A. A. Khattab, Bayer J. Al-Sulaifanie and Ayad Mohammed mahmmod alarna, (2018). **Stability of unsaturated soil slopes subjected to external load and rainfall**, International Journal of Geotechnical Engineering,
- [12] Arunav Chakraborty and Diganta Goswami, (2016). **State of the art: Three Dimensional (3D) Slope-Stability Analysis**. International Journal of Geotechnical Engineering, vol. 10, no. 5, pp. 493-498.
- [13] อติเทพ ศรีคงศรี. (2556). **เสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดิน: ห่วงข้อแนะนำเพิ่มเติมในตำราวิชาปฐพีกลศาสตร์**. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2556, 119-129.
- [14] พิณทิพย์ อธิโรจนะวัฒน์ และสุพจน์ เจริญสุข. (2536). **การทดสอบใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) ในพื้นที่ป่าไม้**. กลุ่มลุ่มน้ำ ส่วนวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [15] เดชา มณีนิย. (2556). **พื้ดินถล่มที่วัดตัว ตำบลโพสะ อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง**. สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 (ปทุมธานี) กรมทรัพยากรธรณี, รายงานวิชาการ ฉบับที่ สทช 8/2556.
- [16] ปานทิพย์ มีถาวร, อภิรัฐ ปล้องมาก. (2553). **การศึกษาการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ในเขตพื้นที่ ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140
- [17] สำนักงานแขวงทางหลวงชนบทพะเยา. (2564). **แผนที่แนวเขตอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา** ย่อขยายแผนที่มาตราส่วน 1:50000. สำนักงานแขวงทางหลวงชนบท กรมทางหลวงชนบท
- [18] กรมทรัพยากรธรณี. (2551). **แผนที่ทางธรณีวิทยาจังหวัดพะเยา ปี พ.ศ. 2550 และปรับปรุง ปี พ.ศ. 2551** ย่อขยายแผนที่มาตราส่วน 1:250,000. สำนักธรณีวิทยา กรมธรณีวิทยา
- [19] เทศบาลตำบลรวมใจพัฒนา. (2551). **โครงการก่อสร้างระบบประปาหมู่บ้านแบบบาดาลขนาดใหญ่** มาตรฐานการประปาครหลวง. สำนักงานเทศบาลตำบลรวมใจพัฒนา ตำบลแม่ใจ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา
- [20] กรมชลประทาน. (2565). **ระบบฐานข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่ปืม**. ส่วนระบบสารสนเทศและภูมิสารสนเทศ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมชลประทาน

- [21] สถานีวัดระดับน้ำ I17. (2565). **ระดับน้ำรายชั่วโมง จากสถานี I17 เจริญงาม**. สถานีวัดระดับน้ำ I17 ตำบลท่าวังทอง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา
- [22] กรมอุตุนิยมวิทยา (2565). **ปริมาณน้ำฝน ปี พ.ศ.2559 - ปี พ.ศ. 2565**. ส่วนสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ สถานีตรวจอากาศพะเยา กรมอุตุนิยมวิทยา
- [23] กรมทางหลวงชนบท (2559). **งานฟื้นฟูทางหลวงชนบทอันเนื่องมาจากเหตุภัยพิบัติ กิจกรรมก่อสร้างแนวป้องกันตลิ่ง**.
- [24] กรมทางหลวงชนบท (2559). **งานฟื้นฟูทางหลวงชนบทอันเนื่องมาจากเหตุภัยพิบัติ กิจกรรมก่อสร้างแนวป้องกันตลิ่ง**. สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 17 (เชียงราย) สำนักงานทางหลวงชนบท จังหวัดพะเยา กรมทางหลวงชนบท