

การศึกษาเสถียรภาพลาดคลองดินของโครงการประตูระบายน้ำบ้านท่าหวล

ต.วังไคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี

The Study of Slope Stability of Irrigation Canal :

A Case Study of the Tha Hua Lob Floodgate Project,

Wangkrai Sub-district, Tha Yang District, Phetchaburi Province, Thailand.

ธนภัทร ศรีจันทร์¹ รังสิมันต์ รินตุมมา² ศุภณัฐ ณะธรรม³ กรกนก ไนจิตต์^{4,*} ธวัชชัย เป้าทุย⁵ และ ภควัต ลำจวน⁶

^{1,2,3,5} วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นนทบุรี

⁴ ฝ่ายทดสอบและวิเคราะห์ดินด้านวิศวกรรม ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

⁶ ฝ่ายวิศวกรรมที่ 1 ส่วนวิศวกรรม สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน

*Corresponding author; E-mail address: kornkanok.nai@ku.th

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ฝนตกหนักในพื้นที่ประเทศไทยส่งผลให้ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้เกิดอุทกภัยในพื้นที่ ต่อมาเมื่อระดับน้ำกลับเข้าสู่ระดับปกติอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการทรุดตัวของลาดคลองดิน และสร้างความเสียหายต่อลาดดินในพื้นที่ของโครงการนั้น ๆ ดังนั้นบทความนี้เป็นการศึกษาเสถียรภาพของลาดคลองดินของโครงการประตูระบายน้ำบ้านท่าหวล ต.วังไคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี เพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดในกรณีระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดของลาดคลองดิน โดยใช้โปรแกรม GeoStudio2023 และนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางการออกแบบลาดคลองดินให้มีความปลอดภัยต่อไป จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคลองดินที่กรณีระดับน้ำสูงสุด, ระดับน้ำต่ำสุด, ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว, สิ้นสุดการก่อสร้าง และกรณีเกิดแผ่นดินไหว พบว่ามีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในทุกกรณีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: เสถียรภาพของลาดคลองดิน, อัตราส่วนความปลอดภัย, การแปรผลทางวิศวกรรมปฐพี

Abstract

The rainy season in Thailand results in elevated water levels in irrigation canals, which subsequently decrease rapidly due to inadequate management of floodgates. This fluctuation can lead to the collapse of canal slopes and undermine soil stability. This research focuses on analyzing the slope stability of irrigation canal slopes, with particular emphasis on the Tha Hua Lob Floodgate Project located in Wangkrai Sub-district, Tha Yang District, Phetchaburi Province. The primary objective is to evaluate the safety factor during these rapid changes in

water levels, utilizing the GeoStudio2023 model, in order to establish guidelines for the design of safer canal slopes. The findings indicate that the safety factor remains satisfactory across various scenarios, including the conditions of highest water level, lowest water level, rapid drawdown, end of construction, and seismic events.

Keywords: Slope stability of irrigation canal, Factor of Safety, Geotechnical Interpretation

1. บทนำ

การพังทลายของลาดคลองดิน คือ พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของมวลดินจากระดับที่สูงลงสู่ระดับที่ต่ำกว่า อันเป็นผลจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง ซึ่งอาจเกิดขึ้นอย่างฉับพลันพร้อมกับปริมาณดินจำนวนมาก หรืออาจเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป โดยกระบวนการดังกล่าวมักก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ในด้านการบริหารจัดการน้ำ ปัญหาการพังทลายของลาดคลองดินถือเป็นอุปสรรคสำคัญ เนื่องจากมวลดินที่เคลื่อนตัวลงมาก็กีดขวางเส้นทางน้ำ และส่งผลให้ถนนบริเวณคันคลองเกิดความเสียหาย การซ่อมแซมลาดคลองดินที่พังทลายมักดำเนินการได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกันอย่างมาก

จากเหตุการณ์ฝนตกหนักในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ซึ่งก่อให้เกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองละแมตอนล่าง จังหวัดชุมพร โดยเฉพาะบริเวณหัวงานของโครงการประตูระบายน้ำ และเมื่อระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็วสู่ภาวะปกติ ได้ส่งผลให้ตลิ่งคลองละแมด้านเหนือของประตูระบายน้ำเกิดการทรุดตัวและพังทลายเนื่องจากสูญเสียเสถียรภาพของคลอง [6] เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของความสนใจในการศึกษาเสถียรภาพของลาดคลองดิน สำหรับโครงการประตูระบายน้ำบ้านท่าหวล

ตำบลวังไคร้ อำเภอยาง จังหวัดเพชรบุรี จากการสำรวจพบว่า พื้นที่โครงการเป็นคลองดินธรรมชาติที่อยู่ระหว่างการเตรียมการบดอัด เพื่อให้ได้ค่าความลาดเอียงและความแน่นของดินตามมาตรฐานการออกแบบของกรมชลประทาน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำที่สุดในแต่ละกรณีของระดับน้ำ โดยอิงตามหลักวิศวกรรมปฐพีและธรณีวิทยา ด้วยการใช้โปรแกรม GeoStudio เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดคลองดิน และนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำของระบบประจวบคีรีขันธ์ต่อไป ตลอดจนใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดขอบเขตระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด โดยคำนึงถึงการรักษาเสถียรภาพของลาดคลองดินอย่างเหมาะสม ก่อนการเปิดใช้งานโครงการอย่างเต็มรูปแบบ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสถียรภาพของลาดดิน (Stability of Soil Slopes)

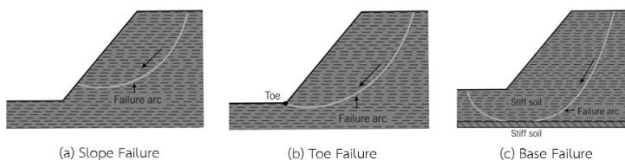
เมื่อดินมีความลาดเอียง ความลาดนั้นไม่ว่าจะเกิดจากการขุดหรือถมก็ตาม ก็จะมีแรงเกิดขึ้นซึ่งพยายามจะทำให้ดินเคลื่อนที่จากจุดที่สูงกว่ามายังจุดที่ต่ำกว่า โดยแรงกระทำเหล่านี้ คือ แรงดึงดูดของโลก และแรงที่เกิดจากการไหลซึมของน้ำ ซึ่งทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนขึ้นในดิน ส่วนในดินก็จะมีแรงต้านทานต่อแรงเฉือนของดิน ซึ่งได้แก่ แรงเสียดทานภายในและแรงเชื่อมแน่นของดิน ถ้าแรงต้านทานมีมากกว่าแรงกระทำ ดินก็จะไม่เกิดการเคลื่อนตัวและพังทลาย [4]

เสถียรภาพความลาดของดินก็คือการอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ต่อการพังทลาย

$$\text{อัตราส่วนปลอดภัย (F.S.)} = \frac{\text{แรงต้านทาน (หรือโมเมนต์ของแรงต้านทาน)}}{\text{แรงกระทำ (หรือโมเมนต์ของแรงกระทำ)}} \quad (1)$$

2.2 การวิบัติแบบส่วนโค้ง (Rotational Failure)

การวิบัตินี้เกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลดินตามผิวเอื้อนรูปโค้ง คล้ายส่วนหนึ่งของทรงกระบอกใน 3 มิติ แบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่ Slope Failure ดังรูปที่ 1(a), Toe Failure ดังรูปที่ 1(b) และ Base Failure ดังรูปที่ 1(c)



รูปที่ 1 การวิบัติแบบส่วนโค้ง (Rotational Failure) [8]

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการวิบัติของเสถียรภาพลาด

2.3.1 การกัดเซาะ (Erosion)

2.3.2 ปริมาณน้ำฝน (Rainfall)

2.3.3 แผ่นดินไหว (Earthquakes)

2.3.4 ลักษณะทางธรณีวิทยา (Geological Features)

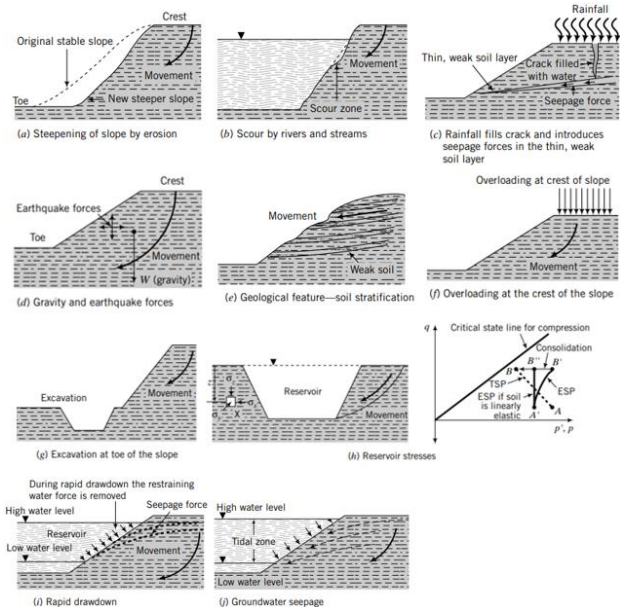
2.3.5 แรงกระทำภายนอก (External Loading)

2.3.6 การก่อสร้าง (Construction Activities)

ก. การขุดลาดดิน

ข. Fill Slope

2.3.7 การลดระดับน้ำอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)



รูปที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการวิบัติของเสถียรภาพลาด [8]

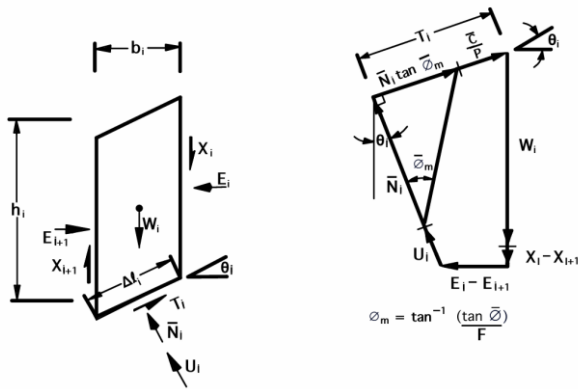
2.4 การหาเสถียรภาพความลาดของดินสำหรับดินประเภทที่มี c และ ϕ

สำหรับดินที่มีค่า c และ ϕ นั้น กำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินตามแนวผิวของการเคลื่อนตัวจะประกอบด้วยแรงเชื่อมแน่นและแรงเสียดทานตามแนวผิวของการเคลื่อนตัวนั้น ๆ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Simplified Bishop Method

2.4.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธี Simplified Bishop Method

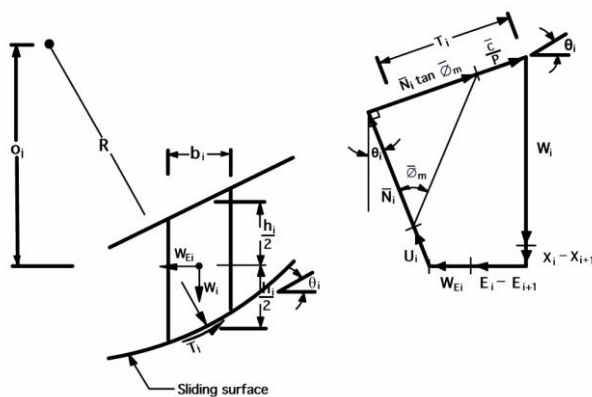
เป็นหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์โดยวิธีสมดุลขีดจำกัด ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันโดยทั่วไป โดยอาศัยการใช้หลักการการวิเคราะห์สมดุลดินในระนาบที่ปกติ ซึ่งมีการสมมติการเกิดลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลดินในรูปแบบชิ้นส่วน ต้องทราบว่าความลาดชันของเขื่อนหรือคลองที่เราสร้างขึ้นนั้นมีความแข็งแรงเพียงใด ซึ่งในวิธีขีดจำกัดสมดุลมีหลายทฤษฎีย่อยที่มีขอบเขตและลักษณะการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ความมั่นคงแบบนี้เป็นการแบ่งมวลดินออกเป็นชิ้นหรือแท่ง เช่นเดียวกับ Slices Method แต่พิจารณาแรงและสมดุลของแรงละเอียดขึ้น โดยคำนึงถึงสมดุลของ Moment ของแท่งดินแต่ละแท่งและแรงที่กระทำด้านข้างของแท่งดิน วิธีนี้ถูกพัฒนาโดย Prof. Bishop (1955) และปรับปรุงโดย Janbu (1956) ซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่คำนวณได้แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น [1]



(n) Free body Diagram

(ข) Force polygon



(ค) Effect of seismic force

(ง) Force polygon with seismic force

รูปที่ 3 การวิเคราะห์หน่วยแรงในชิ้นส่วนด้วยวิธี

Simplified Bishop Method [1]

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\bar{c}_i b_i + b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \cdot \tan \theta_i}{M_\theta} \right]}{\sum_{i=1}^n [\gamma \cdot b_i \cdot h_i \cdot \sin \theta_i]} \quad (5)$$

เมื่อ $\bar{c}$ คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินประสิทธิผล

ϕ คือ มุมเสียดทานภายในของดิน (Angle of Internal Friction)

γ คือ หน่วยน้ำหนักของดินโดยทั่วไป

n คือ จำนวนแถบของมวลดิน (Number of Slices)

b_i คือ ความกว้างของ Slice แต่ละแถบ (Width of the Slice)

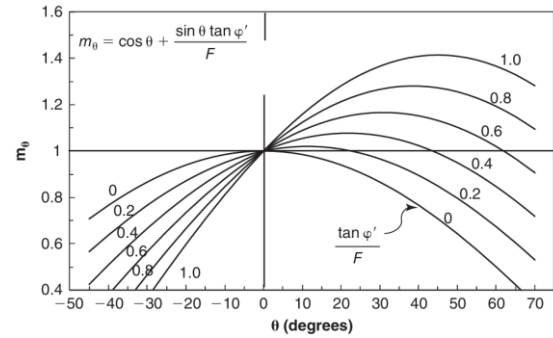
h_i คือ ความสูงเฉลี่ยแท่งดินของ Slice แต่ละแถบ

h_{wi} คือ ความสูงเฉลี่ยของระดับน้ำที่สูงกว่าผิวเคลื่อนของแท่งดิน

θ_i คือ มุมเอียงของเส้นสัมผัส (Angle of Inclination)

M_θ คือ เทอมย่อของ $M_\theta = \cos \theta_i + (\sin \theta_i \tan \phi_i) / F.S.$

ในสมการที่ (5) จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยปรากฏขึ้นทั้งสองข้างของสมการ จึงต้องแก้สมการโดย Iterative โดยการสมมติค่า F.S. แล้วแทนค่าซ้ำจนได้ค่า F.S. ที่ไม่เปลี่ยนแปลงสำหรับการคำนวณตามทฤษฎี โดยค่า M_θ สามารถอ่านค่าได้จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าของ M_θ จากสมการที่ 12 (Janbu 1956) [9]

สำหรับในกรณีที่มีแรงจากแผ่นดินไหวเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นแรงในแนวราบที่เป็นสัดส่วนกับ น้ำหนักดิน กระทำที่จุดศูนย์กลาง (Centroid) ของมวลดิน แล้วทำให้รูปหลายเหลี่ยมของแรงเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 3(ค) และ 3(ง) โดยวิธีการของ Simplified Bishop Method แรงด้านข้าง W_{Ei} จะไม่ส่งผลทำให้ Normal force เปลี่ยนแปลง (Undrained Condition) แต่จะมีผลทำให้ Sliding Moment เพิ่มขึ้น จะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยดังแสดงในสมการที่ 6 [1]

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\bar{c}_i b_i + b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \cdot \tan \theta_i}{M_\theta} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\gamma \cdot b_i \cdot h_i \cdot \sin \theta_i + \frac{K_s}{R} \cdot \gamma h_i b_i a_i \right]} \quad (6)$$

เมื่อ K_s คือ สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

a_i คือ Moment arm หรือระยะในแนวดิ่งจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางแท่งดิน

2.5 การกำหนดค่าแรงดันน้ำที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน

เนื่องจากค่าแรงดันน้ำที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบดอัดระหว่างการก่อสร้าง และที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บกักน้ำ ซึ่งมีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง ซึ่งในการวิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อนแบบ Effective Stress Method สามารถหาค่าแรงดันน้ำได้ ดังนี้

(1) ระหว่างเก็บกักน้ำ สามารถหาค่าแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากเส้น Phreatic Line ตามวิธีของ A. Casagrande (1937) [5]

(2) ระหว่างการก่อสร้าง สามารถหาค่าแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากค่า Pore Pressure Ratio, R_u ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$R_u = \frac{\text{Excess Pore Pressure}}{\text{Overburden Pressure}} = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma_v} \quad (8)$$

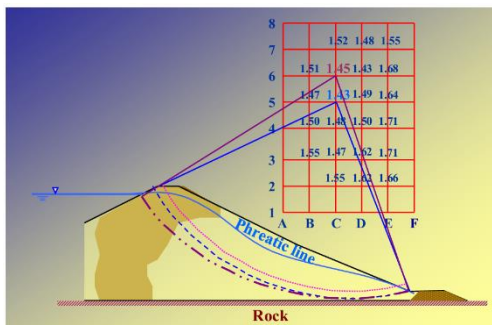
ค่า R_u ที่เกิดขึ้นในช่วงการก่อสร้างเขื่อน นอกเหนือจากขึ้นอยู่กับชนิดดินแล้วยังขึ้นอยู่กับความสูงของการถมดินและระยะเวลาในการก่อสร้าง ซึ่งผลต่อการระบายความดันน้ำส่วนเกิน (ΔU) ออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยทั่วไปแล้วค่า R_u สำหรับงานเขื่อนจะมีค่าประมาณ 0.3 ซึ่งจะได้นำมาใช้ในการกำหนดค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นในช่วงการก่อสร้าง เพื่อใช้วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อนต่อไป [5]

2.6 โปรแกรม GeoStudio2023

เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณทางด้านวิศวกรรมเทคนิคธรณี ซึ่งเป็นโปรแกรมที่อยู่บนพื้นฐาน หลักการทางด้านสมดุลของลิมิต โดยมีแรงและโมเมนต์เข้ามาพิจารณา (Limit Equilibrium Method) ที่ใช้จำลองและวิเคราะห์ปัญหาทางด้านธรณีเทคนิค โดยการจำลองรูปแบบปัญหาแล้วกำหนดแรงและน้ำหนักที่กระทำต่อแบบจำลองจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณด้วยสมดุลแรงในด้านกลศาสตร์ โดยสามารถแสดงค่าที่ได้ในรูปแบบตารางและกราฟฟิกของแรง เวกเตอร์และทิศทางต่าง ๆ และสามารถเลือกพิจารณาแรงได้ตามต้องการ

2.7.1 การวิเคราะห์โดยวิธี Grid and Radius

ในการวิเคราะห์ความมั่นคง ตำแหน่งของผิวเคลื่อน ขนาด และรูปร่างของมวลดินที่พังไถ่ยังเป็นเพียงการยกขึ้นวิเคราะห์กรณีหนึ่งซึ่งอาจจะยังไม่เกิดอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดก็ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์จะต้องมีการค้นหาจุดที่มีอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด เช่น กรณีของผิวเคลื่อนพังรูปวงกลมจะต้องสร้างกริดคลุมพื้นที่บริเวณจุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีโอกาสเกิดอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด แล้วทำการวิเคราะห์หาค่า F.S. ในแต่ละจุดตัดของเส้นกริด และเมื่อลากเส้น Contour เชื่อมต่อจุดที่มีค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่เท่ากัน ก็จะสามารถกำหนดตำแหน่งจุดที่มีค่า F.S. ต่ำสุดได้อย่างชัดเจน [1]



รูปที่ 6 การคำนวณโดยวิธี Grid and Radius

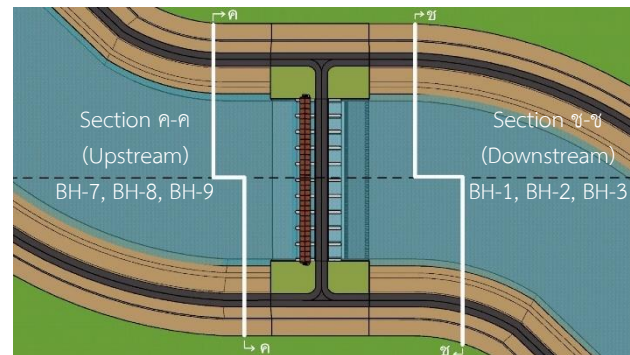
3. วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการรวบรวมข้อมูลดิน โดยใช้ข้อมูลชุดดินจากปฏิบัติการเจาะสำรวจดินจำนวน 9 หลุม บริเวณโครงการก่อสร้างประตูระบายน้ำบ้านท่าหัวลบ ต.วังไคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี ตั้งแต่วันที่ 19 ถึง 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ได้เลือกใช้วิธีการเจาะสำรวจด้วยวิธีตอกทดสอบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ซึ่งเป็นตรวจสอบความแข็งแรงของชั้นดินที่นิยมที่สุดในประเทศไทย หลังจากนั้นนำมาแปลผลเพื่อหาค่าทางปฐพีกลศาสตร์ค่า c , k , γ และ ϕ ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลการเจาะสำรวจ Boring Log ของหลุมจำนวน 6 หลุม ได้แก่ หลุม BH-1, BH-2, BH-3, BH-7, BH-8 และ BH-9 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผังตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ [2]

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการหาค่าในการคำนวณ โดยค่าที่นำมาจาก Boring Log จะมีค่า SPT และ W มาทำการแปลผลค่าทางปฐพีกลศาสตร์หาค่า c , k และ ϕ แล้วนำค่าที่ได้กรอกลงในแบบจำลองในโปรแกรม GeoStudio2023 เพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยของความลาดของรูปตัด ค-ค และรูปตัด ข-ข โดยในการศึกษาพื้นที่งานวิจัยนี้ จะใช้การอ้างอิงจากแบบวิศวกรรมของโครงการประตูระบายน้ำบ้านท่าหัวลบ กรมชลประทาน และใช้โปรแกรม SketchUp2022 ในการแสดง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ภาพมุมมองของโครงการประตูระบายน้ำบ้านท่าหัวลบ โดยใช้โปรแกรม SketchUp2022

จากรูปที่ 7 และ 8 จะเห็นได้ว่าไม่ได้มีการเลือกใช้หลุมเจาะสำรวจ BH-4, BH-5 และ BH-6 เนื่องจากในได้มีการสมมติให้บริเวณตัวอาคารประตูระบายน้ำบ้านท่าหัวลบตั้งอยู่ในตำแหน่งของหลุมเจาะ BH-4, BH-5 และ BH-6 ดังนั้นจึงไม่ได้มีการนำหลุมเจาะเหล่านี้มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการหาเฉพาะเสถียรภาพบริเวณที่เป็นลาดดินธรรมชาติที่ได้มีการบดอัดเพื่อให้ได้ความลาดชันที่ถูกต้องตรงตามแบบวิศวกรรมที่ได้ออกแบบไว้

3.1 ก่อสร้าง (Gabion)

Gabion คือ โครงสร้างที่ทำจากลวดเหล็กที่นำมาเผาเกิดการอ่อนตัวและเคลือบด้วยสังกะสี ได้ออกมาเป็นลวดตาข่าย (Wire Mesh) แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นกล่องหรือทรงกระบอก ก่อนที่จะบรรจุหินหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้เสริมความแข็งแรงของตัวเขื่อนหรือลาดคลองไว้ภายใน นอกจากนั้นจึงมักจะนำมาเพื่อใช้ในการงานวิศวกรรม เช่น การป้องกันตลิ่งพัง การป้องกันการกัดเซาะ การทำกำแพงกันดิน เป็นต้น

ดังนั้น Gabion จึงเป็นวัสดุที่ช่วยเสริมแข็งแรงและเสริมเสถียรภาพของโครงสร้างที่มีความลาด เพื่อป้องกันการเกิดการวิบัติของเสถียรภาพลาด โดยในการออกแบบจริงของกรมชลประทานได้มีการใส่ Gabion เข้าไป จึงทำให้มีการศึกษาถึงกรณีหากไม่มีการใส่ Gabion จะส่งผลให้เสถียรภาพของลาดดินลดลงมากน้อยเพียงใด

3.2 ข้อมูลชุดดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ

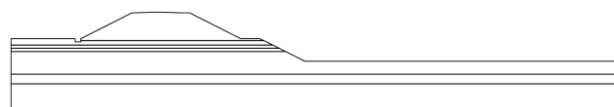
ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลชุดดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ

หลุม	ชั้นดินที่	ชนิด	ระยะ		SPT	Water Content
			หน่วย เมตร, m		N/ft	
BH-1	1	CL	0.00	- 2.00	20	10.3
	2	SP-SM, SM	2.00	- 4.00	16	7.0
	3	SM	4.00	- 5.50	5	17.3
	4	GP	5.50	- 10.00	47	9.9
	5	SP-SM	10.00	- 10.90	78	9.5
BH-2	1	SM	0.00	- 1.00	18	9.3
	2	SM	1.00	- 1.50	8	12.9
	3	SM	1.50	- 2.00	50	8.5
	4	GM	2.00	- 2.50	36	12.0
	5	SM, SP-SM, SC	2.50	- 11.50	48	13.4
	6	CL	11.50	- 12.23	200	19.4
BH-3	1	SM	0.00	- 0.50	8	10.5
	2	SM	0.50	- 1.50	22	10.8
	3	SM	1.50	- 3.00	6	15.4
	4	CL	3.00	- 4.00	5	24.6
	5	SP-SM	4.00	- 7.00	14	12.3
	6	GW-GM	7.00	- 8.50	43	8.6
	7	CL	8.50	- 10.00	77	26.1
	8	SM	10.00	- 12.05	250	14.9
BH-7	1	SM	0.00	- 1.00	28	6.5
	2	SM	1.00	- 1.50	10	5.5
	3	SM	1.50	- 2.00	13	5.6
	4	GM	2.00	- 5.50	8	10.0
	5	SP-SM	5.50	- 7.00	9	11.7
	6	SM, SW	7.00	- 10.95	61	7.8
BH-8	1	SP-SM, SM, SC	0.00	- 9.25	41	9.7
BH-9	1	SM	0.00	- 1.50	16	11.0
	2	SM	1.50	- 2.00	7	9.4
	3	SM	2.00	- 2.50	11	11.9
	4	SM	2.50	- 3.00	8	11.0
	5	SM	3.00	- 4.00	11	10.8
	6	GP-GM	4.00	- 5.50	33	6.3
	7	SM, SC	5.50	- 8.50	82	13.0
	8	CL	8.50	- 10.63	135	15.3

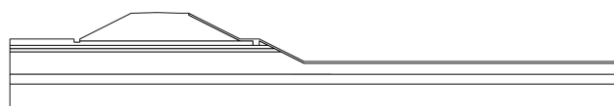
จากตารางที่ 1 จะเห็นการแสดงรายละเอียดหลุมทั้ง 6 หลุมที่ได้นำมาใช้ ในการวิเคราะห์ โดยจะมีการอ่านค่าระยะระหว่างชั้นดิน, จำนวนการตอก (SPT/N) และ Water Content จากการอ่าน Boring Log

3.3 ตัวอย่างรูปตัดชั้นดินของโครงการประตูระบายน้ำบ้านท่าหัวลบ

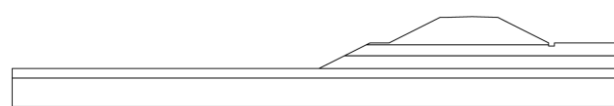
นำผลที่ได้จากการแปลผลจาก Boring Log มาสร้างรูปตัดชั้นดิน โดยจะแสดงตัวอย่างรูปตัดที่ได้ดังรูปที่ 9 - 12



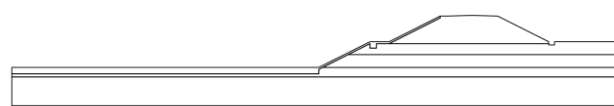
รูปที่ 9 ตัวอย่างรูปตัด ค-ค (Upstream) หลุม BH-7 แบบไม่มี Gabion



รูปที่ 10 ตัวอย่างรูปตัด ค-ค (Upstream) หลุม BH-7 แบบมี Gabion



รูปที่ 11 ตัวอย่างรูปตัด ข-ข (Downstream) หลุม BH-1 แบบไม่มี Gabion



รูปที่ 12 ตัวอย่างรูปตัด ข-ข (Downstream) หลุม BH-1 แบบมี Gabion

จากรูปที่ 9 - 12 เป็นรูปตัดที่ได้แบ่งชั้นดินจากผล Boring Log เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก่อนนำรูปตัดเหล่านี้เข้าไปวิเคราะห์ในโปรแกรม GeoStudio2023 โดยระยะของชั้นดินต่าง ๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 1

3.4 การแปลผลข้อมูลชุดดินตามหลักวิศวกรรมปฐพี

ในการแปลผลข้อมูลชุดดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ จะใช้ค่า SPT - N ไปใช้ในการประมาณค่า เพื่อหาค่า c , k และ ϕ จะอ้างอิงข้อมูลการแปลผลจากหนังสือการใช้ข้อมูลด้านปฐพีกลศาสตร์เพื่อการออกแบบอาคารชลประทาน กรมชลประทาน [3]

3.4.1 การใช้ค่า SPT- N เพื่อหาค่า Angle internal friction (ϕ), Permeability (k) และ Cohesion (c)

สำหรับดินที่เป็นดินทราย ค่า c จะมีค่าใกล้เคียง 0 ดังนั้นความแข็งแรงของดินทรายจึงขึ้นอยู่กับค่ามุม ϕ เท่านั้น [3]

$$\phi = 0.3N + 27 \quad \text{มีหน่วยเป็นองศา} \quad (10)$$

สำหรับค่า Permeability, k สามารถดูได้จากการดูตารางการแบ่ง Soil Classification จากหนังสือ “การใช้ข้อมูลด้านปฐพีกลศาสตร์เพื่อการออกแบบอาคารชลประทาน” หน้า 34 กรมชลประทาน [3] มาใช้ในการแปลผลข้อมูลชุดดิน ดังตารางที่ 2

สำหรับค่า c ในชั้นดินเหนียวเนื่องจากเป็นดินที่ความอึดตัว จึงมักจะใช้ค่า Undrained strength ที่ ϕ มีค่าใกล้เคียง 0 ดังนั้น ความแข็งแรงของดินจึงขึ้นอยู่กับค่า c เพียงอย่างเดียว [3] หรือสามารถดูได้จากตารางที่ 2

$$c = 0.625N \quad \text{มีหน่วยเป็น ton/m}^2 \quad (9)$$

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของดินประเภทต่าง ๆ [3]

ชนิดดิน	ค่าความซึมน้ำ (Permeability) $k \times 10^{-6}$ ชม./วินาที	กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) C_o กก./ชม. ²
GW	$(0.23 \pm 0.013) \times 10^{-6}$	(.)
GP	$(0.064 \pm 0.033) \times 10^{-6}$	(.)
GM	> 0.3	(.)
GC	> 0.3	(.)
SW	(.)	0.4 ± 0.04
SP	> 15	0.23 ± 0.06
SM	7.3 ± 4.7	0.52 ± 0.06
SM-SC	0.8 ± 0.6	0.51 ± 0.22
SC	0.3 ± 0.2	0.76 ± 0.15
ML	0.57 ± 0.22	0.68 ± 0.10
ML-CL	0.125 ± 0.07	0.64 ± 0.17
CL	0.08 ± 0.03	0.88 ± 0.10
OL	(.)	(.)
MH	0.16 ± 0.10	0.74 ± 0.30
CH	0.05 ± 0.05	1.04 ± 0.34
OH	(.)	(.)

3.4.2 การหาค่า Permeability (k) โดยใช้ Soil Classification

ในการหาค่า Permeability, k จะใช้ตารางค่าความแข็งแรงของดินบดอัดโดยประมาณ จากหนังสือการใช้อัตราส่วนด้านปฐพีกลศาสตร์เพื่อการออกแบบอาคารชลประทาน หน้า 34 กรมชลประทาน [3] มาใช้ในการแปรข้อมูลดิน ดังตารางที่ 2

3.5 เกณฑ์ขั้นต่ำค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ได้อ้างอิงเกณฑ์ต่าง ๆ จากหนังสือวิศวกรรมเขื่อนดินของ ดร.วรารักษ์ ไฉ่เรียง [1] โดยแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนความปลอดภัยขั้นต่ำของลาดคลองดินในกรณีต่าง ๆ [1]

กรณี	เกณฑ์อัตราส่วนความปลอดภัยขั้นต่ำ	
	Without Seismic	With Seismic
End of Construction	1.250	1.000
Highest Water Level (+27.00 m. Elev.)	1.500	1.250
Rapid Drawdown (+27.00 m. Elev. To +20.00 m. Elev.)	1.250	1.000

4. ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม GeoStudio2023

จากการวิเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของคันคลองโดยใช้โปรแกรม GeoStudio2023 โดยจะทำการวิเคราะห์ 4 กรณี ได้แก่ กรณีระดับน้ำสูงสุด, ระดับน้ำต่ำสุด, ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว, สิ้นสุดการก่อสร้าง และกรณีเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ของรูปตัด ค-ค ที่เป็นด้านเหนือน้ำ (Upstream) และรูปตัด ข-ข ที่เป็นด้านท้ายน้ำ (Downstream) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์หน้าตัด ค-ค (Upstream) กรณีแบบไม่มี Gabion

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. ของรูปตัด ค-ค แบบไม่มี Gabions

กรณี	รูปตัด ค-ค (Upstream) แบบไม่มี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-7)		ฝั่งขวา (BH-8, BH-9)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
End of Construction (+20.50 m. Elev.)	4.016	3.109	3.791	2.956
Highest Water Level (+27.00 m. Elev.)	5.082	3.471	5.072	3.483
Rapid Drawdown (+27.00 m. Elev. To +20.00 m. Elev.)	3.348	2.583	3.257	2.534

จากการวิเคราะห์หน้าตัด ค-ค (Upstream) กรณีแบบไม่มี Gabion พบว่ากรณีที่เกิดแผ่นดินไหวมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่ากรณีไม่เกิดแผ่นดินไหวทุกกรณี และในทุกกรณีผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

4.2 ผลการวิเคราะห์หน้าตัด ค-ค (Upstream) กรณีแบบมี Gabion

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. ของรูปตัด ค-ค แบบมี Gabions

กรณี	รูปตัด ค-ค (Upstream) แบบมี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-7)		ฝั่งขวา (BH-8, BH-9)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
End of Construction (+20.50 m. Elev.)	3.989	3.081	3.684	2.871
Highest Water Level (+27.00 m. Elev.)	5.012	3.416	4.910	3.371
Rapid Drawdown (+27.00 m. Elev. To +20.00 m. Elev.)	3.320	2.555	3.210	2.495

จากการวิเคราะห์หน้าตัด ค-ค (Upstream) กรณีแบบมี Gabion พบว่ากรณีที่เกิดแผ่นดินไหวมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่ากรณีไม่เกิดแผ่นดินไหวทุกกรณี และในทุกกรณีผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

4.3 ผลการวิเคราะห์หน้าตัด ข-ข (Downstream) กรณีแบบไม่มี Gabion

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. ของรูปตัด ข-ข แบบไม่มี Gabions

กรณี	รูปตัด ข-ข (Downstream) แบบไม่มี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-2, BH-3)		ฝั่งขวา (BH-1)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
End of Construction (+20.00 m. Elev.)	3.781	2.908	3.660	2.894
Highest Water Level (+27.00 m. Elev.)	4.783	3.265	4.356	2.851
Rapid Drawdown (+27.00 m. Elev. To +20.00 m. Elev.)	2.989	2.311	2.990	2.227

จากการวิเคราะห์หน้าตัด ข-ข (Downstream) กรณีแบบไม่มี Gabion พบว่ากรณีที่เกิดแผ่นดินไหวมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่ากรณีไม่เกิดแผ่นดินไหวทุกกรณี และในทุกกรณีผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

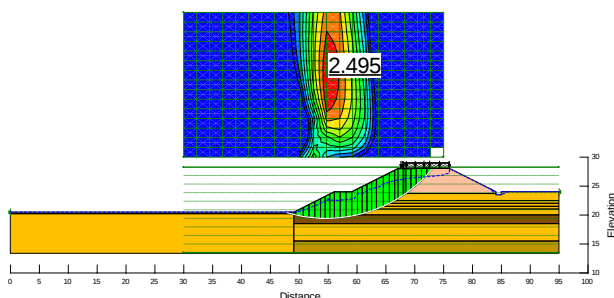
4.4 ผลการวิเคราะห์หน้าตัด ข-ข (Downstream) กรณีแบบมี Gabion

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. ของรูปตัด ข-ข แบบไม่มี Gabions

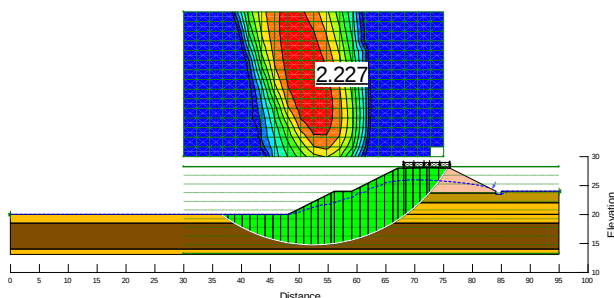
กรณี	รูปตัด ข-ข (Downstream) แบบมี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-2, BH-3)		ฝั่งขวา (BH-1)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
End of Construction (+20.00 m. Elev.)	3.660	2.825	3.630	2.793
Highest Water Level (+27.00 m. Elev.)	4.548	3.093	4.114	2.691
Rapid Drawdown (+27.00 m. Elev. To +20.00 m. Elev.)	2.900	2.236	3.010	2.245

จากการวิเคราะห์หน้าตัด ข-ข (Downstream) กรณีแบบมี Gabion พบว่ากรณีที่เกิดแผ่นดินไหวมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่ากรณีไม่เกิดแผ่นดินไหวในทุกกรณี และในทุกกรณีผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

จากการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลาดดินของโครงการประตุน้ำบ้านท่าหัวลบ ในกรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง, ระดับน้ำสูงสุด และกรณีระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ร่วมกับคำนวณเมื่อมีการเกิดแผ่นดินไหว พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดของรูปตัด ค-ค (Upstream) ที่ได้คือ 2.495 เป็นของหลุม BH-8, BH-9 กรณี Rapid Drawdown เมื่อคิดแผ่นดินไหว แบบมี Gabion ดังรูปที่ 13 และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดของรูปตัด ข-ข (Downstream) ที่ได้คือ 2.227 เป็นของหลุม BH-1 กรณี Rapid Drawdown เมื่อคิดแผ่นดินไหว แบบไม่มี Gabion ดังรูปที่ 14 ซึ่งพบว่าในทุกกรณีนั้นผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด



รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. ของหน้าตัด ค-ค (หลุม BH-8, BH-9) กรณี Rapid Drawdown เมื่อคิดแผ่นดินไหว แบบมี Gabion



รูปที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. ของหน้าตัด ข-ข (หลุม BH-1) กรณี Rapid Drawdown เมื่อคิดแผ่นดินไหว แบบไม่มี Gabion

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่า F.S. เพื่อหาระดับน้ำต่ำสุด

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักในการค้นหาอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดของโครงการประตุน้ำ ซึ่งถือเป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินเสถียรภาพและความมั่นคงของโครงสร้างในสถานการณ์ที่มีระดับน้ำต่ำที่สุด งานวิจัยจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยภายใต้เงื่อนไขระดับน้ำต่าง ๆ โดยเฉพาะในกรณีที่ระดับน้ำต่ำสุด เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและตัดสินใจในการดำเนินการเปิด-ปิดบานระบายของประตุน้ำอย่างเหมาะสมและปลอดภัย

วิธีการวิเคราะห์จะทำการลดระดับน้ำจากระดับน้ำสูงสุดที่ +27.00 ม. (ร.ท.ก.) ลงทีละ 0.50 ม. จนกระทั่งถึงระดับท้องคลองของหน้าตัด ค-ค และหน้าตัด ข-ข ซึ่งอยู่ที่ระดับ +20.50 ม. (ร.ท.ก.) และ +20.00 ม. (ร.ท.ก.) ตามลำดับ การลดระดับน้ำในลักษณะนี้จะช่วยให้สามารถประเมินค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดคลองในแต่ละระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่องและละเอียด เพื่อให้สามารถระบุจุดที่อัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าต่ำที่สุด

4.5.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ค-ค (Upstream) กรณีแบบไม่มี Gabion

ตารางที่ 8 ค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ค-ค กรณีแบบไม่มี Gabion

Water Level (ม. ร.ท.ก.)	รูปตัด ค-ค (Upstream) แบบไม่มี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-7)		ฝั่งขวา (BH-8, BH-9)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
26.5	4.849	3.361	4.804	3.354
26.0	4.629	3.261	4.564	3.237
25.5	4.437	3.171	4.357	3.135
25.0	4.272	3.093	4.176	3.046
24.5	4.131	3.027	4.021	2.970
24.0	4.008	2.967	3.888	2.904
23.5	3.917	2.928	3.791	2.857
23.0	3.827	2.890	3.718	2.823
22.5	3.746	2.849	3.669	2.803
22.0	3.684	2.818	3.634	2.797
21.5	3.646	2.801	3.600	2.795
21.0	3.633	2.799	3.592	2.797
20.5	3.638	2.807	3.611	2.815

กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ค-ค กรณีแบบไม่มี Gabion พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดเมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 3.592 ที่ระดับน้ำ +21.00 ม. (ร.ท.ก.) และเมื่อคิดกรณีมีแผ่นดินไหวจะได้เท่ากับ 2.795 ที่ระดับน้ำ +21.50 ม. (ร.ท.ก.) ซึ่งพบว่าผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

4.5.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของ หน้าตัด ค-ค (Upstream) กรณีแบบมี Gabion

ตารางที่ 9 ค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ค-ค กรณีแบบมี Gabion

Water Level (ม. ร.ท.ก.)	รูปตัด ค-ค (Upstream) แบบมี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-7)		ฝั่งขวา (BH-8, BH-9)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
26.5	4.785	3.315	4.584	3.232
26.0	4.583	3.220	4.342	3.108
25.5	4.397	3.132	4.128	2.998
25.0	4.234	3.056	3.943	2.900
24.5	4.095	2.991	3.778	2.815
24.0	3.972	2.932	3.634	2.738
23.5	3.870	2.890	3.529	2.685
23.0	3.779	2.846	3.421	2.626
22.5	3.700	2.806	3.335	2.581
22.0	3.636	2.773	3.273	2.549
21.5	3.595	2.753	3.234	2.530
21.0	3.577	2.748	3.220	2.524
20.5	3.580	2.757	3.229	2.538

กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ค-ค กรณีแบบมี Gabion พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดเมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 3.220 ที่ระดับน้ำ +21.00 ม. (ร.ท.ก.) และเมื่อเกิดกรณีมีแผ่นดินไหวจะได้เท่ากับ 2.524 ที่ระดับน้ำ +21.00 ม. (ร.ท.ก.) ซึ่งพบว่าผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

4.5.4 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของ หน้าตัด ช-ช (Downstream) กรณีแบบไม่มี Gabion

ตารางที่ 10 ค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ช-ช กรณีแบบไม่มี Gabion

Water Level (ม. ร.ท.ก.)	รูปตัด ช-ช (Downstream) แบบไม่มี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-2, BH-3)		ฝั่งขวา (BH-1)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
26.5	4.560	3.158	4.182	2.778
26.0	4.353	3.058	4.022	2.709
25.5	4.167	2.966	3.876	2.645
25.0	4.001	2.883	3.745	2.588
24.5	3.853	2.807	3.626	2.537
24.0	3.717	2.738	3.519	2.490
23.5	3.605	2.683	3.430	2.454
23.0	3.505	2.631	3.356	2.425
22.5	3.420	2.586	3.299	2.406
22.0	3.354	2.551	3.256	2.394
21.5	3.306	2.527	3.224	2.383
21.0	3.278	2.514	3.205	2.378
20.5	3.267	2.513	3.199	2.378
20.0	3.259	2.519	3.199	2.385

กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ช-ช กรณีแบบไม่มี Gabion พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดเมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 3.199 ที่ระดับน้ำ +20.50 ม. (ร.ท.ก.) และเมื่อเกิดกรณีมีแผ่นดินไหวจะได้เท่ากับ 2.378 ที่ระดับน้ำ +21.00 ม. (ร.ท.ก.) ซึ่งพบว่าผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

4.5.4 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของ หน้าตัด ช-ช (Downstream) กรณีแบบมี Gabion

ตารางที่ 11 ค่า F.S. กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ช-ช กรณีแบบมี Gabion

Water Level (ม. ร.ท.ก.)	รูปตัด ช-ช (Downstream) แบบมี Gabion			
	ฝั่งซ้าย (BH-2, BH-3)		ฝั่งขวา (BH-1)	
	Without Seismic	With Seismic	Without Seismic	With Seismic
26.5	4.338	2.993	3.958	2.628
26.0	4.144	2.901	3.816	2.569
25.5	3.969	2.815	3.687	2.515
25.0	3.814	2.738	3.572	2.467
24.5	3.674	2.668	3.468	2.426
24.0	3.547	2.605	3.376	2.388
23.5	3.444	2.555	3.302	2.362
23.0	3.354	2.510	3.242	2.344
22.5	3.280	2.474	3.196	2.333
22.0	3.224	2.447	3.162	2.323
21.5	3.186	2.430	3.143	2.320
21.0	3.167	2.425	3.134	2.321
20.5	3.167	2.431	3.135	2.327
20.0	3.165	2.442	3.136	2.340

กรณีระดับน้ำต่ำสุดของหน้าตัด ช-ช กรณีแบบมี Gabion พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดเมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 3.134 ที่ระดับน้ำ +21.00 ม. (ร.ท.ก.) และเมื่อเกิดกรณีมีแผ่นดินไหวจะได้เท่ากับ 2.320 ที่ระดับน้ำ +21.50 ม. (ร.ท.ก.) ซึ่งพบว่าผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเสถียรภาพลาดคลองดินของโครงการประจวบคายน้ำ บ้านท่าหัวลบ ต.วังไคร้ อ.ท่าช้าง จ.เพชรบุรี โดยใช้ข้อมูลชุดดินจากปฏิบัติการเจาะสำรวจดินจำนวน 9 หลุม บริเวณโครงการก่อสร้างประจวบคายน้ำบ้านท่าหัวลบ ตั้งแต่วันที่ 19 ถึง 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 และทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio2023 สรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction)

จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคลอง กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction) พบว่าได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 3.633 เมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว และเมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 2.793 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในทุกกรณี คือ 1.25 และ 1.00 ตามลำดับ ดังนั้นเสถียรภาพของลาดคลองดินในกรณีนี้ถือว่าปลอดภัย

5.1.2 การวิเคราะห์กรณีระดับน้ำสูงสุด (Highest Water Level)

จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของลาดคลอง กรณีระดับน้ำสูงสุด (Highest Water Level) พบว่าได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 4.114 เมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว และเมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 2.691 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในทุกกรณี คือ 1.50 และ 1.25 ตามลำดับ ดังนั้นเสถียรภาพของลาดคลองดินในกรณีนี้ถือว่าปลอดภัย

5.1.3 การวิเคราะห์กรณีระดับน้ำต่ำสุด (Lowest Water Level)

จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของลาดคลอง กรณีระดับน้ำต่ำสุด (Lowest Water Level) โดยการทดลองลดระดับน้ำจากระดับน้ำสูงสุดไปถึงระดับท้องคลอง ซึ่งจะทำการลดระดับน้ำครั้งละ 0.5 เมตร พบว่าได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 3.134 เมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว ที่ระดับน้ำ +21.00 ม. (ร.ท.ก.) และเมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 2.320 ที่ระดับน้ำ +21.50 ม. (ร.ท.ก.) ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในทุกกรณี คือ 1.50 และ 1.25 ตามลำดับ ดังนั้นเสถียรภาพของลาดคลองดินในกรณีนี้ถือว่าปลอดภัย

5.1.4 การวิเคราะห์กรณีระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)

จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของลาดคลอง กรณีระดับน้ำต่ำสุด (Lowest Water Level) พบว่าได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 2.900 เมื่อไม่เกิดแผ่นดินไหว และเมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 2.227 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในทุกกรณี คือ 1.25 และ 1.00 ตามลำดับ ดังนั้นเสถียรภาพของลาดคลองดินในกรณีนี้ถือว่าปลอดภัย

จากการวิเคราะห์ทั้ง 4 กรณี ร่วมกับกรณีที่มี Gabion และไม่มี Gabion ทำให้ทราบว่า ไม่พบระดับที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้เกิดการวิบัติของเสถียรภาพลาดของคลองดิน ถึงแม้ว่าจะไม่มีการใส่ Gabion ก็ตาม เนื่องจากในทุกกรณี ที่ทำการวิเคราะห์ นั้นมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทุกกรณี จึงทำให้ไม่พบระดับน้ำที่ทำให้เกิดการวิบัติของเสถียรภาพของลาดคลองดิน

5.2 การนำไปใช้ประโยชน์

5.2.1 เพื่อการออกแบบของแบบจำลอง

ทราบอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำสุดที่สามารถใช้งานได้และแบบจำลองงานป้องกันคลองส่งน้ำของประจวบคีรีขันธ์ตามหลักวิศวกรรมปฐพีและธรณีวิทยา โดยใช้โปรแกรม GeoStudio2023

5.2.2 เพื่อกำหนดขอบเขตระดับน้ำ

นำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยมาใช้เป็นแนวทางกำหนดขอบเขตระดับน้ำสูงสุด – ต่ำสุด ในการบริหารจัดการน้ำในประจวบคีรีขันธ์เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการพังทลายของคันคลอง และคงเสถียรภาพการทำงานของคลองส่งน้ำ

5.2.3 เพื่อการแก้ไขและปรับปรุง

เพื่อนำข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมปฐพีของชั้นดินที่ได้จากการทดสอบในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ มาใช้เป็นข้อมูลในการแก้ไขและปรับปรุงโครงการในภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ

เนื่องจากไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่ชัดในการก่อสร้างประจวบคีรีขันธ์ได้ จึงทำการสมมติตำแหน่งเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ คือ บริเวณด้านเหนือ (ใช้หลุมBH-7, BH-8 และ BH-9), บริเวณด้านท้ายน้ำ (ใช้หลุมBH-1, BH-2 และ BH-3) และสำหรับบริเวณอาคารประจวบคีรีขันธ์ (ใช้หลุมBH-4, BH-5 และ BH-6) ซึ่งไม่ได้มีการนำมาคำนวณ โดยการสมมติตำแหน่งเหล่านี้ อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของข้อมูล

5.3.2 การแปรผลข้อมูลชุดดิน

ควรเลือกรูปแบบการแปรผลที่เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน มาจากแหล่งเดียวกัน และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของข้อมูล

5.3.3 วิธีในการคำนวณ

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาด จะใช้วิธี Grid and Radius และใช้วิธีการคำนวณจริงตามทฤษฎี เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบความน่าเชื่อถือที่ได้วิเคราะห์จากโปรแกรม

5.3.4 วิธีการวิเคราะห์โดยวิธี Entry & Exit

มักจะใช้เพื่อการวิเคราะห์ภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จหรือใช้เพื่อการปรับปรุงความลาดของตัวเขื่อนหรือคลอง เป็นต้น

5.3.5 การคำนวณตามทฤษฎี

ในการคำนวณเพื่อหาเสถียรภาพโดยการคำนวณจริงตามทฤษฎีได้ทำการคำนวณตำแหน่งตามชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ ซึ่งมีจำนวนชั้นดินที่มากกว่า 2 ชั้นโดยทั่วไปการคำนวณเพื่อหาเสถียรภาพของความลาด จะมีการวิเคราะห์ในหน้าตัดดินที่มีชั้นดินอยู่ที่ 1–2 ชั้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.ภควัต ลำจวน ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ.กรกนก ในจิตต์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม อ.ธวัชชัย เป้าหัย กรรมการที่ปรึกษาร่วม คณาจารย์วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยฉบับนี้ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้ความรู้ แนวคิด อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ และเอาใจใส่ในทุกขั้นตอนของงานวิจัยตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ที่สุด จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรากร ไหมเรียง. (2542). วิศวกรรมเขื่อนดิน (พิมพ์ครั้งที่ 2). ไลบราเรียนาย, กรุงเทพฯ.
- [2] บริษัท เจ แอล พี เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส จำกัด. (2565). งานเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน โครงการก่อสร้างประตูปรับน้ำบ้านท่าหัวลบ ตำบลวังไคร้ อำเภอยาง่าง จังหวัดเพชรบุรี. บริษัท เจ แอล พี เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส จำกัด.
- [3] ชยพล เตชะฐิตินันท์. (2557). การใช้ข้อมูลด้านปฐพีกลศาสตร์เพื่อการออกแบบอาคารชลประทาน. โครงการฝึกอบรมหลักสูตรการเพิ่มทักษะและองค์ความรู้ด้านการออกแบบ. กรมชลประทาน.
- [4] มณฑิร กังคศิเทียม. (2566). “กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 12).” สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [5] ส่วนเทคโนโลยีและมาตรฐาน สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ. (2550). คู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ. กรมทรัพยากรน้ำ.
- [6] ส่วนปฐพีกลศาสตร์ สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน. (2567). โครงการประตูปรับน้ำคลองละแมตอนล่าง อำเภอละแม จังหวัดชุมพร, วิเคราะห์สาเหตุแห่งความเสียหายงานป้องกันตลิ่งเหนือประตูปรับน้ำ. กรมชลประทาน.
- [7] Briaud, J.-L. (2013). Introduction to geotechnical engineering : unsaturated and saturated soils (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Budhu, M. (2000). Soil mechanics and foundations (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.