

การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างคอสะพานแบบกำแพงกันดินเสริมแรง

: กรณีศึกษา สะพานวังเย็น อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี

A behaviour study of geosynthetic reinforced soil wall type bridge abutment: a case study of Wangyen bridge, Dan Makham Tia District, Kanchanaburi province

ประภิต ไชยศรี^{1*} อภินิติ โชติสังกาศ² สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว³ บวรพงศ์ สุขเจริญ⁴ พิสิฐ ศรีวรานันท์⁵ และ อิชย์ ศิริประเสริฐ⁶

¹ วิศวกรโยธาชำนาญการ กรมทางหลวงชนบท

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมปฐพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมปฐพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

⁴ นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปฐพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

⁵ ผู้อำนวยการสำนักงานทางหลวงชนบท กรมทางหลวงชนบท

⁶ ผู้อำนวยการกลุ่มวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมทางหลวงชนบท

บทคัดย่อ

ปัจจุบันคอสะพานหลายแห่งเกิดการวิบัติมากขึ้น สาเหตุหลักเกิดจาก กระแสน้ำที่มีความเร็วสูงและการกัดเซาะรุนแรง ความชื้นในโครงสร้างที่สูง เนื่องจากน้ำล้นตลิ่งและน้ำใต้ดิน ประกอบกับโครงสร้างเดิมของคอสะพาน เกิดการเสื่อมสภาพตามระยะเวลา การซ่อมแซมคอสะพานที่เสียหายต้องมีการสำรวจและออกแบบโครงสร้างเพื่อแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด โดยใช้งบประมาณที่คุ้มค่า การเก็บข้อมูลสำรวจทางด้านกายภาพ ทางด้าน วิศวกรรมปฐพี และการศึกษาพฤติกรรมของน้ำใต้ดินและความชื้นในบริเวณ คอสะพานเป็นสิ่งสำคัญ การศึกษาครั้งนี้ได้สำรวจเก็บข้อมูลก่อนการก่อสร้าง โดยพิจารณาออกแบบโครงสร้างระบบกำแพงกันดินเสริมแรงโดยใช้ กรณีศึกษา สะพานวังเย็น อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันน้ำในวัสดุมวลรวมและความชื้นภายในกำแพง กันดินเสริมแรง รวมถึงการตรวจวัดการเอียงตัวที่ด้านหน้ากำแพง ซึ่ง สามารถแสดงผลได้ทันทีบนโต๊ะโดยระบบโทรมาตร ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัย พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความชื้น และค่าการเอียงตัวอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

คำสำคัญ: โครงสร้างคอสะพาน, กำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์, การตรวจวัดสภาพโครงสร้าง

Abstract

Failure of bridge abutment becomes increasingly frequent nowadays. The major cause is related to the torrential river flow with high erosive force, the high moisture content and seepage force in the earth structure, as well as the deterioration of the old abutment. In order to retrofit these abutments, proper investigation and design are needed to pinpoint the cause of problem for worthwhile use of budget. The geographical, geotechnical survey of the site and the information moisture and

pore-water pressure are of great importance. This study involved site investigation, analysis and design of a geosynthetic reinforced soil wall type bridge abutment with of Wangyen bridge, Dan Makham Tia District, Kanchanaburi province. Instrumentations were also installed at the wall including pore-water pressure, soil moisture as well as tilting of the wall face using KU in-placed inclinometer. The monitoring results can be obtained real-time through a telemetering system. According to the results, the change in moisture and inclination of wall face were within the safe limit.

Keywords: Bridge abutment, Mechanically Stabilized Earth Wall, Monitoring

1. คำนำ

การพังทลายของถนนบริเวณคอสะพานเกิดปัญหามากขึ้นในปัจจุบัน โดยการพิบัติที่เกิดขึ้นมีปัจจัยหลัก คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม เนื่องจากฝนตกหนัก ยาวนานและการมีสิ่งกีดขวางปิดทางน้ำ ส่งผลให้น้ำมีการเอ่อล้นตลิ่งและเกิดการไหลแบบป่วน จึงเกิดการกัดเซาะบริเวณใต้คอสะพานหลายแห่ง จากงานวิจัยด้านการตรวจวัดพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในลาดดินธรรมชาติ และกำแพงเสริมแรง [1-5] พบว่า น้ำฝนและลักษณะการระบายน้ำในลาด เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แรงดันน้ำในลาดดินและโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น จากค่าลบในฤดูแล้งสู่ค่าบวกในฤดูฝนจนนำไปสู่การเคลื่อนตัวของลาดและโครงสร้าง รวมถึงการพิบัติ วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาระบบระบายน้ำภายในของลาดและโครงสร้างกำแพงกันดินให้เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุถม (Back Fill) และวัสดุเสริมกำลังดินในการแก้ปัญหา จากรายงานของ Durukan & Tezcan [6] พบว่าส่วนประกอบที่ใช้งบประมาณมากที่สุดของระบบเสริมกำลังดินคือ วัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลังซึ่งจะเท่ากับ 40% ของต้นทุนการก่อสร้างซึ่งจริงๆแล้วนั้นคุณสมบัติของดินที่ถม (Back

Fill) และวัสดุสังเคราะห์ที่ช่วยในการระบายน้ำได้มีส่วนเกี่ยวข้องในการช่วยลดต้นทุนงบประมาณการก่อสร้างได้เช่นกัน

ในบทความนี้ได้นำเสนอกรณีศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของโครงสร้างคอสระพานโดยการออกแบบเป็นระบบกำแพงกันดินเสริมแรงพร้อมศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างหลังการก่อสร้าง โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น และการเคลื่อนตัวของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง ข้อมูลที่นำเสนอนี้วิศวกรโยธาอาจสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและ แกะไขคอสระพานทรุดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคตต่อไป

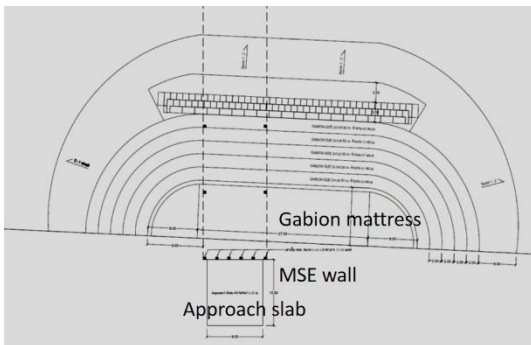
2. การสำรวจและออกแบบ

งานศึกษาวิจัยนี้ เป็นงานเก็บข้อมูลพื้นที่เสียหายของคอสระพานที่เกิดขึ้นจริง โดยการทดสอบในสนาม การศึกษาคุณสมบัติของดิน และติดตั้งเครื่องมือวิเคราะห์ที่เก็บข้อมูลด้านกายภาพ และพฤติกรรมของน้ำใต้ดิน การเคลื่อนตัวของโครงสร้างหลังการก่อสร้าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการออกแบบแก๊ซคอสระพานทรุดตัว

2.1 สำรวจเก็บข้อมูลทางวิศวกรรม

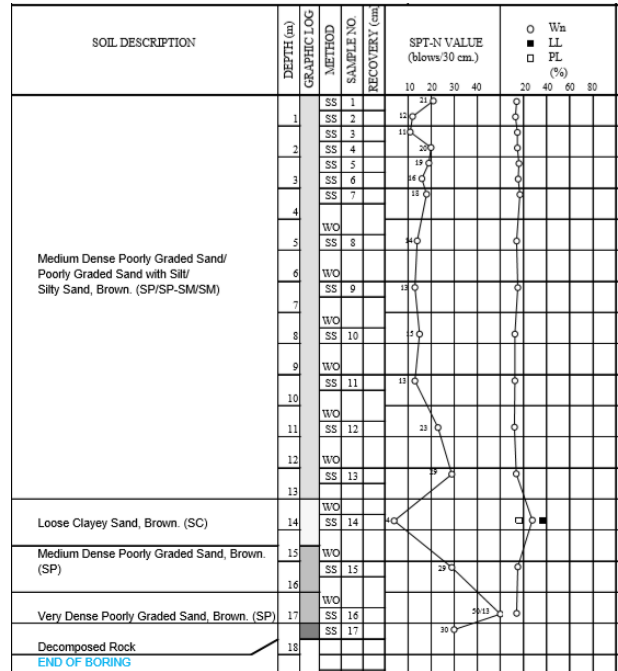
2.1.1 สำรวจเก็บระดับบริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถเขียนเส้นชั้นความสูง

พื้นที่โครงการดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณสะพานวังเย็น ข้ามแม่น้ำแควน้อย รับผิดชอบโดยกรมทางหลวงชนบท ความยาว 150.00 ม.กว้าง 10.00 ม. บริเวณความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณคอสระพานฝั่งขวา มีความยาวประมาณ 10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบแปลนแสดงพื้นที่โครงการ

ผลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณโครงการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของดิน และงานฐานรากทางวิศวกรรม แสดงดังรูปที่ 2 โดยชั้นดินเดิมเป็นชั้นทรายขนาดเม็ดสม่ำเสมอและทรายปนทรายแข็งความแน่นปานกลาง (medium dense SP, SM) ตั้งแต่ผิวดินถึงความลึก 13 เมตร และ พบชั้นทรายหลวมปนดินเหนียว (SC) ถึงความลึกประมาณ 14.5 เมตร จากนั้นจึงพบชั้นทรายแน่นปานกลาง ถึงแน่นมาก จนถึงความลึก 18 เมตร จนถึงชั้นหินผุ จากการเจาะสำรวจผู้ออกแบบจึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ผลเจาะสำรวจดินบริเวณพื้นที่โครงการ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

Model	Unit weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Friction angle (degree)
Fill material (#57 stone)	17	0	40
Medium dense silty sand	18	0	32
Loose clayey sand	18	0	27
Medium dense silty sand (2)	18	0	33
Very dense sand	19	0	35
Gabion	17	0	32
Gravel	17	0	32

2.2 การออกแบบและวิเคราะห์แบบจำลอง

2.2.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น

เนื่องจากพื้นที่โครงการสะพานวังเย็น อ.ด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี เกิดการกัดเซาะของมวลน้ำมหาศาลของแม่น้ำแควน้อยซึ่งเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปีจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้คอสระพานเกิดการทรุดตัวขึ้นหลายแห่ง และพื้นที่บริเวณดังกล่าวที่สภาพเป็นดินทรายเกิดการกัดเซาะและพังทลาย

2.2.2 แนวทางการพิจารณาแก้ไข

จากการสำรวจทำการเก็บค่าระดับพื้นที่โครงการ ข้อมูลดิน พบว่าในการออกแบบโครงสร้างอาคาร จะต้องเลือกใช้โครงสร้างที่สามารถป้องกันการกัดเซาะและมีเสถียรภาพ และสามารถทนการทรุดตัวได้ดี ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาการออกแบบเป็นโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง การออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินต้องมีขนาดที่เหมาะสม สามารถก่อสร้างได้ง่ายโดยไม่มีปัญหาเรื่องการทำงานของเครื่องจักร ในส่วนของกำแพงกันดินจึง

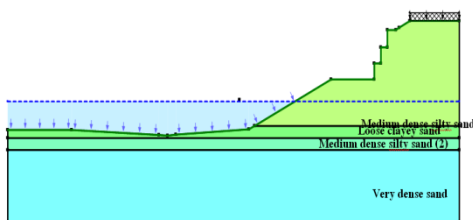
พิจารณาใช้แผ่นตาข่ายเสริมแรง (Geogrid) เสริมกำลังดินเป็นชั้นๆ ให้ความยาวของ Geogrid พอเพียงที่สามารถรับแรงด้านข้างได้ เปรียบเสมือนโครงสร้าง Gravity Wall และปิดทับหน้าด้วยวัสดุที่สามารถก่อสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว จึงพิจารณาเลือกใช้บล็อกคอนกรีตในการป้องกันการกัดเซาะด้านหน้าองค์อาคาร วัสดุที่ใช้ถมที่เหมาะสมควรระบายน้ำได้ด้วยเพื่อลดแรงดันน้ำใต้ดิน จึงเลือกใช้วัสดุหินหินเกล็ด มีขนาดเฉลี่ย 3/8 นิ้ว เป็นวัสดุถมและใช้วัสดุกรอง (Filter Material) ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) และมีท่อระบายน้ำที่เจาะเป็นรูพรุนเพื่อระบายน้ำให้ออกจากมวลดินเร็วที่สุด

นอกจากนั้น กำแพงกันดินเสริมกำลัง (Mechanically Stabilized Earth Wall) จัดเป็นระบบโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น และทนต่อการทรุดตัวได้ดี โดยผู้ออกแบบได้วิเคราะห์เสถียรภาพทั้งภายในและภายนอก (Internal & External Stabilities) โดยวิเคราะห์เสถียรภาพภายนอกหรือโดยรวม (Global Stability) ด้วยวิธี Limit Equilibrium Method, LEM ซึ่งสามารถคำนวณหาหน้าตัดของการ Slide ที่มีอัตราส่วนความปลอดภัย (Safety Factor) ต่ำสุดได้ ส่วนการวิเคราะห์เสถียรภาพภายในจะทำการคำนวณด้วยมาตรฐาน FHWA NHI 00043 ประกอบด้วยการวิเคราะห์กำลังของตาข่ายสังเคราะห์เสริมกำลังดิน (Geogrid) ว่าสามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นและไม่เกิดการขาด (Tensile rupture) หรือรูดออกจากกันได้ (Pull out) รวมทั้งเสถียรภาพพื้นฐานของกำแพงกันดินอันได้แก่ Overturning, Sliding และ Bearing Stabilities

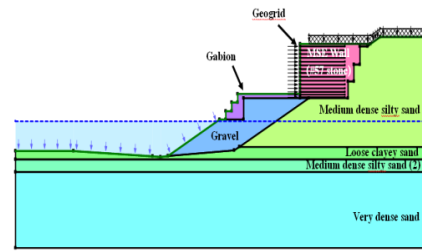
2.2.3 การออกแบบวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ออกแบบจะคำนึงถึงความปลอดภัยในขั้นตอนการขุดเปิดหน้าดินเป็นสำคัญ โดยจะต้องมีเสถียรภาพที่เพียงพอสำหรับการทำการขุดเปิดเพื่อก่อสร้าง และมีความปลอดภัย (Safety Factor) ที่เพียงพอตามมาตรฐานขั้นต่ำที่ $FS = 1.25$ (WSDOT, 2006) แสดงดังรูปที่ 3

โดยในโครงการนี้จะทำการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินแบบ Modular Block Wall ซึ่งเป็นรูปแบบลักษณะ MSE Wall เพื่อใช้สำหรับค้ำยันดิน โดยจะมีความสูงของกำแพงที่ 5.00 เมตร และมีระยะลึกลงฝังลึกของตาข่ายสังเคราะห์เสริมกำลัง (Geogrid) ไม่น้อยกว่า 7.5 เมตร และมีกำลังรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 21.2 kN/m ในทุกๆระยะห่าง 0.30 และ 0.45 เมตร ตลอดความสูงกำแพง ด้านล่างของกำแพงจะก่อสร้างในรูปแบบเกเบี่ยนและมีฐานหินทั้งในการรับน้ำหนักของฐานรากเพื่อป้องกันการกัดเซาะบริเวณ Toe แสดงรูปแบบดังรูปที่ 4



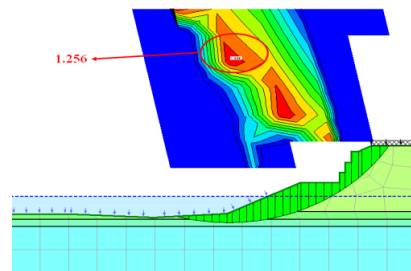
รูปที่ 3 รูปแบบการวิเคราะห์เสถียรภาพการขุดเปิดหน้าดิน



รูปที่ 4 รูปแบบการวิเคราะห์เสถียรภาพกำแพงกันดินเสริมแรง

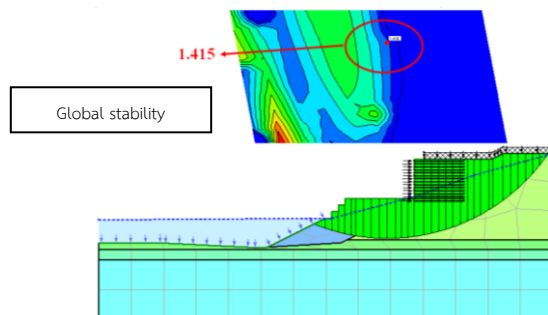
2.2.4 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเสถียรภาพโดยรวมของระบบเมื่อทำการขุดเปิด มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.256 ซึ่งมากกว่าค่าความปลอดภัยขั้นต่ำตามข้อกำหนด $FS = 1.25$ (WSDOT, 2006) ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพการขุดเปิดหน้าตัดเพื่อทำการก่อสร้าง

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเสถียรภาพโดยรวมของโครงสร้างที่สภาวะระดับน้ำลดลงต่ำสุด (Drawdown) มีบริเวณที่เกิดวงวิบัติแบบโดยรวมที่น้อยที่สุด (Global stability) ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.415 ซึ่งมากกว่าค่าขั้นต่ำตามมาตรฐาน $FS = 1.3$ ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยมีค่าความปลอดภัยดังตารางที่ 2 อนึ่ง ลักษณะของเส้น contour ของค่า FS ในรูปที่ 6 รวมตำแหน่งของ Local stability ที่จุดอื่นๆด้วย เช่นที่ผิวดิน แต่เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับกำแพงจึงไม่นำค่า FS ในส่วนเหล่านั้นมาพิจารณา



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดิน

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโครงสร้างแต่ละกรณี

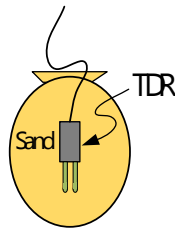
Analysis case	F.S. (Model)	F.S. (Standard)
Open cut	1.256	1.25
Global stability	1.415	1.30
Overturn (External stability)	5.340	2.00
Sliding (External stability)	1.650	1.50
Bearing pressure (External stability)	8.860	2.50

3. การตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้าง

ถึงแม้ว่าค่าความปลอดภัยจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่ในระหว่างการใช้งานอาจมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแรงดันน้ำ ความชื้นในดิน ซึ่งอาจส่งผลต่อการใช้งานและความแข็งแรงของโครงสร้าง ในโครงการนี้จึงมีการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างในระยะยาวโดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในสนาม

การติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้นและวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเสริมแรงที่ก่อสร้างเพื่อซ่อมแซมการพังทลายของลาดดินบริเวณต่อมอสะพานวังเย็น โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้น (Time Domain Reflectometry, TDR) ทั้งหมด 6 จุด โดยบรรจุเซนเซอร์ลงในถุงทรายที่ทำจากแผ่นโพลีเอทิลีน geotextile เพื่อป้องกันความเสียหายขณะบดอัด นอกจากนี้ geotextile ยังสามารถช่วยในการระบายน้ำทำให้ไม่สะสมภายในถุง โดยติดตั้งภายในชั้นวัสดุถมแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นละ 2 จุด และติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ (Pressure sensor) ภายในกำแพง 1 จุด และติดตั้งบริเวณแม่น้ำอีก 1 จุดเพื่อวัดระดับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 7

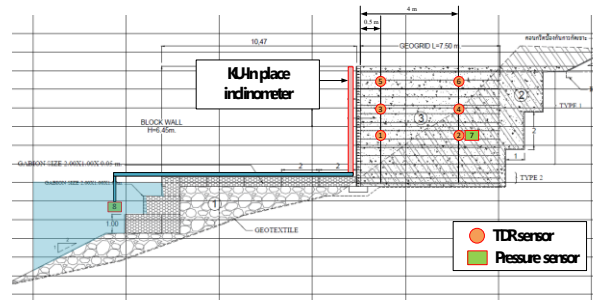


รูปที่ 7 อุปกรณ์วัดความชื้นที่บรรจุในถุงทราย

นอกจากนี้ยังได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน KU-In place inclinometer ซึ่งพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 8 จุด โดยติดเข้ากับท่อ PVC ซึ่งยึดเข้ากับบล็อกคอนกรีตด้านหน้ากำแพงเป็นแนวในการติดตั้งตลอดระยะยาว ความสูงของกำแพง ดังแสดงในรูปที่ 8

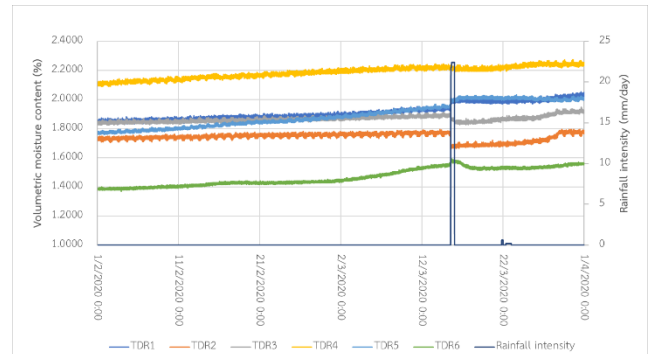


รูปที่ 8 อุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวของกำแพง KU-In place inclinometer



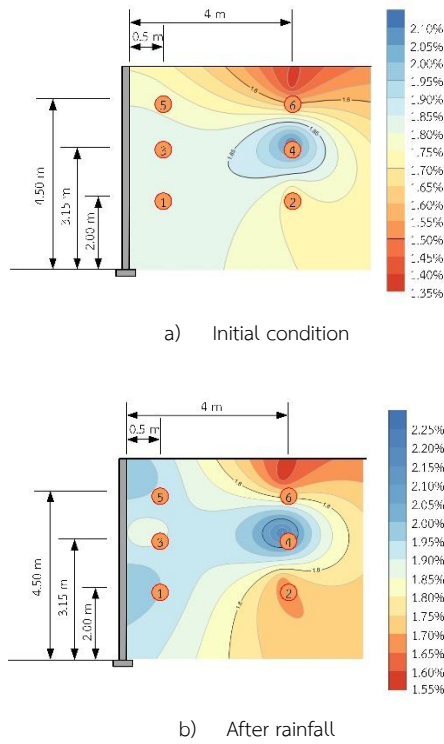
รูปที่ 9 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในสนาม

ผลจากการตรวจวัดความชื้นภายในกำแพงกันดินเสริมแรงบริเวณต่อมอสะพานวังเย็นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ได้ผลสรุปดังรูปที่ 10 แสดงให้เห็นปริมาณน้ำในมวลดินโดยปริมาตร (Volumetric moisture content) มีค่าคงที่ในช่วงที่ไม่มีฝนตกและหลังจากที่ฝนตกปริมาณน้ำในมวลดินมีค่าเพิ่มขึ้น จากข้อมูลข้างต้นพบว่าหลังจากที่ฝนตกปริมาณจะสะสมบริเวณด้านหน้าของกำแพงกันดินซึ่งเป็นบริเวณสำหรับการระบายน้ำ และเห็นว่าหลังจากฝนตกปริมาณน้ำในมวลดินมีค่าลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าหลังจากฝนตกยังคงมีปริมาณน้ำคงเหลือในกำแพงกันดินอยู่บ้าง



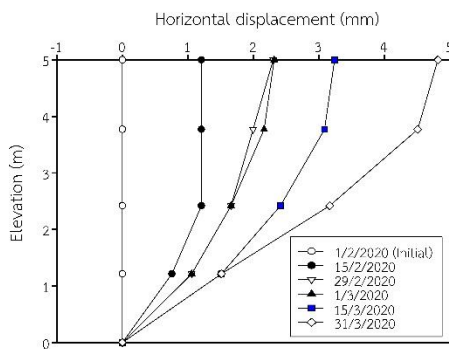
รูปที่ 10 กราฟแสดงปริมาณน้ำในมวลดินโดยปริมาตรและปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2563 – 31 มีนาคม 2563

จากการเก็บข้อมูลลักษณะการกระจายตัวของความชื้นภายในกำแพงโดยอุปกรณ์ TDR พบว่าก่อนฝนตกปริมาณความชื้นภายในกำแพงกันดินมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยจุดที่มีความชื้นสะสมสูงสุดคือตำแหน่งที่ 4 มีปริมาณน้ำโดยปริมาตรเท่ากับ 2.1% ดังแสดงในรูปที่ 11a) หลังจากฝนตกในวันที่ 15 มีนาคม 2563 พบว่าปริมาณน้ำโดยปริมาตรเพิ่มสูงขึ้น และสะสมบริเวณด้านหน้าของกำแพงซึ่งเป็นบริเวณสำหรับการระบายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 11b) อนึ่ง ลักษณะการกระจายความชื้นในรูปแบบเส้น Contour นี้เป็นการประมาณจากค่าที่ตรวจวัดทั้งหมด 6 จุดดังแสดงในรูปที่ 11 เส้น Contour ที่ได้อาจมีความแตกต่างจากความเป็นจริง ในอนาคตควรมีการตรวจวัดเพิ่มเติมโดยวิธี Resistivity เพื่อยืนยันผลการตรวจวัดนี้ต่อไป



รูปที่ 11 ลักษณะการกระจายความชื้นของวัสดุถมภายในโครงสร้างกำแพง

ผลการตรวจวัดระยะเวลา 2 เดือนหลังจากการก่อสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด KU-In place inclinometer เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงในแต่ละช่วงของกำแพง พบว่าหลังจากก่อสร้างเสร็จเป็นเวลาหนึ่งเดือนกำแพงมีการเคลื่อนตัวด้านข้างเล็กน้อยประมาณ 2 มิลลิเมตร หลังจากเกิดฝนตกกำแพงมีการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นเป็น 3 มิลลิเมตร และหลังจากก่อสร้างเสร็จเป็นเวลา 2 เดือนพบว่ากำแพงกันดินเสริมแรงมีการเคลื่อนตัวประมาณ 5 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งสรุปได้ว่าโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงในระยเวลาดังกล่าวมีความมั่นคงและเป็นโครงสร้างที่สมดุล เพื่อพิจารณาจากเกณฑ์ในงานวิจัยโดย [5]



รูปที่ 12 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

2.3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันน้ำที่ติดตั้งไม่สามารถวัดค่าแรงดันน้ำติดลบได้โดยตรงในวัสดุถมซึ่งเป็นหินขนาดใหญ่ ในการศึกษานี้จึงใช้เส้นอัตราลักษณ์ของดิน (Soil-Water Characteristic Curve, SWCC) ของวัสดุทราย

ซึ่งห่อหุ้มอุปกรณ์ TDR ในการแปลงจากค่าความชื้นเป็นแรงดูด ในการทดสอบนี้ใช้วิธีการวัดแบบจุด (Point Wise Measurement) โดยใช้ KU-Tensiometer ชนิดใช้ในห้องปฏิบัติการในการวัดแรงดูด ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยใช้ Mold ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร และสูง 22 มิลลิเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับคุณสมบัติดินในสนามจริงใช้การบดอัดตัวอย่างแบบ Static compaction โดยควบคุมน้ำหนักที่ 95% เมื่อบดอัดแล้วจึงใช้ฐานอลูมิเนียมปิดด้านล่างแล้วใช้ผ้าทอ PVC เจาะรูสำหรับการติดตั้ง KU-Tensiometer ด้านบน และปิดช่องว่างโดยรอบโดยใช้เทปเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

ขั้นตอนการทดสอบแต่ละจุดจะทำการเปลี่ยนแปลงความชื้นโดยการเพิ่มหรือลดความชื้น โดยจะเพิ่มจนใกล้ถึงจุดที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Wetting path) และจะทำการลดความชื้น (Drying path) ในแต่ละจุดของการเพิ่มหรือลดความชื้นจะต้องมีการบ่มให้ความชื้นกระจายตัวทั่วทั้งตัวอย่างก่อนจึงจะทำการวัดแรงดูดได้ จากนั้นสอดเซ็นเซอร์เข้าไปที่ช่องที่เจาะรูแล้วจึงใช้ดินน้ำมันยึดไม่ให้ขยับและป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะทดสอบ

การสร้างแบบจำลอง (Curve fitting) ข้อมูลของเส้นอัตราลักษณ์ของดินในการทดลองนี้ใช้สมการของ Van Genuchten (1980) ดังแสดงในสมการที่ 1

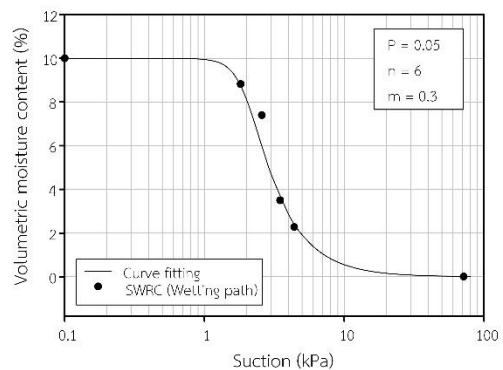
$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\psi}{a}\right)^n\right]^m} \quad (1)$$

โดย θ คือ ความชื้นเชิงปริมาตร (Volumetric water content)

θ_s คือ ความชื้นเชิงปริมาตรที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ

θ_r คือ ความชื้นเชิงปริมาตรที่จุด residual

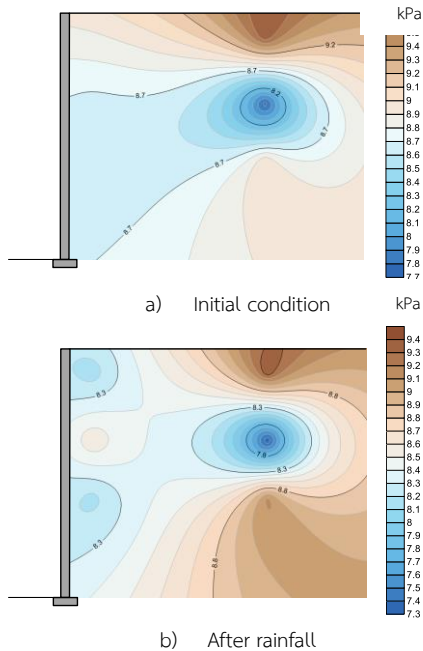
ψ คือ แรงดันน้ำด้านลบหรือแรงดูด (suction) โดยที่ a, n และ m เป็นตัวแปรสำหรับ curve fitting จากการเทียบกราฟได้ค่าตัวแปรปรับค่า p, m และ n ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 เส้นอัตราลักษณ์ของทราย

จากผลการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการเพื่อทำนายเส้นอัตราลักษณ์ของดินสามารถนำไปใช้ในการคำนวณแรงดันน้ำด้านลบของวัสดุถมภายในกำแพงกันดินเสริมแรงได้

ผลจากการวิเคราะห์พบว่าแรงดันน้ำด้านลบมีค่าสูงบริเวณผิวด้านบนของวัสดุถม แรงดันน้ำด้านลบบริเวณกึ่งกลางความสูงของกำแพง มีค่าแรงดันน้ำด้านลบต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 13a) หลังจากฝนตกพบว่าแรงดันน้ำด้านลบตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝน ในบริเวณที่มีความชื้นสะสมสูงทำให้มีแรงดูด (suction) ต่ำดังแสดงในรูปที่ 13b)



รูปที่ 14 ลักษณะการกระจายแรงดูด (Suction) ภายกำแพงกันดิน

4. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการสำรวจและออกแบบแก้ไขคอสะพานทรุดตัว สะพานวังเย็น จ.กาญจนบุรี โดยใช้โครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงโดยวัสดุถมเป็นหินเกล็ด มีขนาดเฉลี่ย 3/8 นิ้ว เป็นวัสดุถม ที่มีระบบระบายน้ำภายในพบว่า เสถียรภาพของโครงสร้างมีความมั่นคงแข็งแรงและสามารถทนการกัดเซาะได้ดี และได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมในระยะยาวของกำแพงกันดิน โดยอุปกรณ์ KU-inplaced Inclinator และ TDR พบว่า การเคลื่อนตัวไม่เกิน 5 มม. ในช่วง 2 เดือนแรกภายหลังการก่อสร้าง และความชื้นในกำแพงค่อนข้างมีค่าคงที่ในช่วงแรก ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการติดตามผลการตรวจวัดในช่วงฤดูฝนต่อไปในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่กรมทางหลวงชนบทและผู้ที่เกี่ยวข้องในการทำงานครั้งนี้และ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นที่ยกย่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] อภินิติ โชติสังกาศ, ไกรโรจน์ มหรรณพกุล และ นิพนธ์ ธีระชัยกุลพานิช (2558) เทคโนโลยีสำรวจการไหลซึมน้ำใต้ดินด้วยเสียงในงาน

วิศวกรรมปฐพี เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558 จ. ชลบุรี

[2] อัคคพัฒน สว่างสุรีย์, จิรโรจน์ ศุภรัตน์, อภินิติ โชติสังกาศ และ เอกนรินทร์ จินะวงค์ (2555) การศึกษารูปแบบการแก้ไขปัญหาการชะล้างพังทลายของลาดคันทาง กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1009 ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 108 (จอมทอง) – ดอยอินทนนท์ บริเวณ กม. 42 วารสารทางหลวง ปีที่ 49 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน 2555 หน้า 20-27

[3] Rahardjo, H., Satyanaga, A., Hoon, K., Sham, W.L., Aaron, Ong, C.L., Huat, B.B.K., Fasihnikoutalab, M.H., Asadi, A., Rahardjo, P.P., Jotisankasa, A., Thu, T.M. & Viet, T.T. (2015) "Slope Safety Preparedness in Southeast Asia for Effects of Climate Change" In Joint Technical Committee JTC-1, JTC-1 TR3 Forum 'Slope Safety Preparedness for Effects of Climate Change' 17 and 18 November 2015 Naples, Italy

[4] ประกิต ไชยศรี, อภินิติ โชติสังกาศ และพิสิฐ ศรีวรานันท์ (2562) ผลกระทบจากสถานะน้ำใต้ดินต่องานออกแบบปรับปรุงเสถียรภาพของลาดคันทาง ถนนบริเวณเชิงเขาด้วยวัสดุเสริมแรง : กรณีศึกษา ถนนทางหลวงชนบท จ.4088 อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24 วันที่ 10-12 กรกฎาคม 2562 จ.อุตรธานี หน้า 2684-2691 <https://www.nccce24.org/qr/qrcode.php>

[5] Tarawneh, Bashar & AL-Bodour, Wassel & Masada, Teruhisa. (2018). Inspection and Risk Assessment of Mechanically Stabilized Earth Walls Supporting Bridge Abutments. Journal of Performance of Constructed Facilities. 32. 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001132.

[6] Durukan, Z., Tezcan, S.S. (1992) Cost analysis of reinforced soil walls. Geotextiles and Geomembranes, Volume 11, Issue 1, 1992

[7] Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines by J.A. DiMaggio, FHWA-NHI-00-043, March 2001.

[8] Geotechnical Design Manual M 46-03.01, Washington State Department of Transportation (WSDOT), January 2010.

[9] van Genuchten, M. Th. (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil. Sci. Soc. Am. J. 44:892-898