

**การศึกษาพฤติกรรมการกระจายความชื้นและเสถียรภาพ
ของกำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์ภายใต้สภาวะฝนตก
A STUDY OF SOIL MOISTURE BEHAVIOR AND STABILITY
OF GEOSYNTHETIC REINFORCED SOIL WALL UNDER RAINFALL CONDITION**

บวรพงศ์ สุขเจริญ^{1,*} อภินิติ โชติสังกา² วรกร ไม้เรียง² และ ประกิต ไชยศรี³

¹ บริษัท กรีนกราวด์โซลูชั่นส์ จำกัด

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมปฐพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ วิศวกรโยธาชำนาญการ แขวงทางหลวงชนบท จ.กาญจนบุรี

*Corresponding author; E-mail address: borwonpong.s@ku.th, fengatj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาพฤติกรรมการกระจายความชื้นและเสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetic Reinforced Soil Wall, GRS wall) ภายใต้สภาวะฝนตกโดยนำข้อมูลที่ตรวจวัดในสนาม เช่น ปริมาณน้ำฝน แรงดันน้ำและความชื้นภายในกำแพงจากพื้นที่ศึกษาบริเวณทางหลวงชนบท กจ.4088 กม.7+650 ต.บึงอ้อ อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี มาใช้ในการสร้างแบบจำลองที่มีพฤติกรรมสอดคล้องกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในสนามโดยใช้คุณสมบัติดินที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและปริมาณน้ำฝนที่บันทึกได้ในช่วงเวลา 2 ปี โดยเลือกช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมสูงมาวิเคราะห์ลักษณะการไหลซึมและพฤติกรรมการกระจายความชื้นภายในวัสดุถม ซึ่งผลการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดฝนตกและมีการไหลซึมของน้ำฝนเข้าสู่โครงสร้างจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลง แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของระบบระบายน้ำภายในวัสดุถมซึ่งสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาการออกแบบและบำรุงกำแพง GRS ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: กำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์, การกระจายตัวของความชื้น, การวิเคราะห์เสถียรภาพ

Abstract

This research aims to present the influence of soil moisture behavior and stability of the Geosynthetic Reinforced Soil (GRS) Wall under rainfall conditions. GRS wall seepage and stability analysis under rainfall conditions were simulated based on field monitoring such as rainfall intensity, pore-water pressure, and soil moisture. This research simulated in highest rainfall intensity from field monitoring to create a seepage model and stability analysis. It reveals that after rainfall, water seeps through the backfill soil and effect to decreasing of a safety factor. This result

can be used in terms of design work and maintenance of the GRS wall as a long-term benefit.

Keywords: Geosynthetic Reinforced Soil Wall, Soil Moisture Behavior, Stability analysis

1. คำนำ

ในปัจจุบันการพิบัติของลาดดินหรือลาดคันทางบริเวณเชิงเขาเกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศไทยและมักจะเกิดขึ้นในสภาวะฝนตกหรือมีน้ำฝนเป็นสาเหตุของการพิบัติ เนื่องจากน้ำฝนทำให้เกิดการกัดเซาะหน้าดินของลาดคันทางและไหลซึมลงสู่ชั้นดินส่งผลให้แรงดันน้ำในดินเพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะติดลบเป็นบวกส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงทำให้เกิดการพิบัติจากงานวิจัยด้านการตรวจวัดพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในลาดดินธรรมชาติ (อภินิติ, 2555) เมื่อเกิดการพิบัติของลาดคันทางบริเวณเชิงเขานิยมใช้กำแพงกันดินเสริมแรง (Geosynthetic Reinforced Soil Wall, GRS wall) ในการซ่อมแซมคันทางที่เกิดการพังทลายแล้ว เนื่องจากก่อสร้างได้รวดเร็ว ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย เป็นโครงสร้างป้องกันดินถล่มที่ยืดหยุ่นสามารถทนต่อแรงแผ่นดินไหวหรือการทรุดตัวได้มากกว่ากำแพงกันดินชนิดแข็ง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกระจายความชื้นและอิทธิพลของความชื้นต่อเสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรง ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบของความชื้นต่อเสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงโดยอ้างอิงข้อมูลการตรวจวัดในสนาม (บวรพงศ์, 2564) เพื่อใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองและทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงภายใต้สภาวะฝนตก

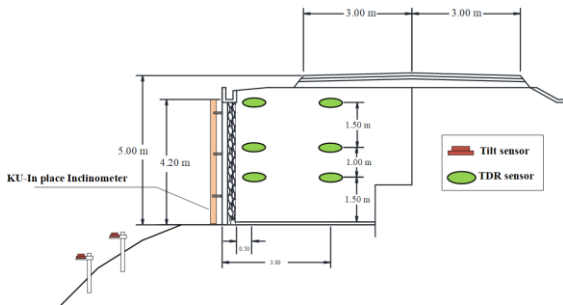
2. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการศึกษาพฤติกรรมการกระจายความชื้นและการเสถียรภาพของกำแพง (บวรพงศ์, 2564) มาใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรง (Geosynthetic

Reinforced Soil Wall , GRS wall) ภายใต้สภาวะฝนตกที่ได้จากการตรวจวัดในสนาม โดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนดังนี้ 1) การวิเคราะห์การไหลซึม 2) การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรง

2.1 การสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การไหลซึม

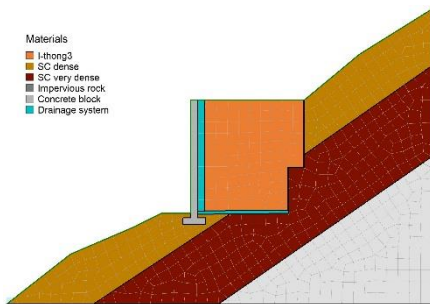
การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมในลักษณะ 2 มิติโดยใช้ Geostudio นำผลการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาใช้ (บวรพงศ์, 2564) มาสร้างแบบจำลองโดยอ้างอิงจากพื้นที่ศึกษาบริเวณทางหลวงชนบท กจ.4088 กม.7+650 ซึ่งเป็นกำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์ความสูง 5 เมตร จากรูปที่ 1 แสดงลักษณะของกำแพงกันดินเสริมแรงและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด



รูปที่ 1 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดของกำแพงกันดินเสริมแรงบริเวณทางหลวงชนบท กจ.4088 กม.7+6500 (บวรพงศ์, 2564)

การวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตกสูงสุดจากการตรวจวัดในสนาม โดยทำการ

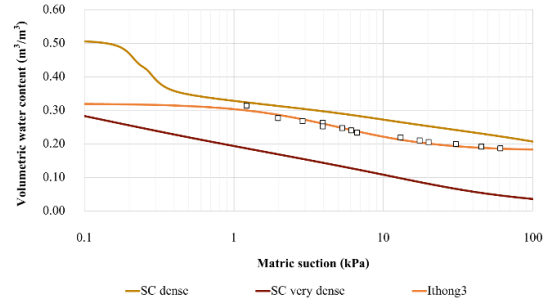
จะแบ่งออกเป็นสองส่วน 1) การวิเคราะห์การไหลซึมก่อนฝนตกในสภาวะคงที่ (Steady state) และ 2) การวิเคราะห์การไหลซึมในแต่ละช่วงเวลา (Transient) รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองการไหลซึมของกำแพงกันดินเสริมแรงจากกรณีศึกษาทางหลวงชนบท กจ.4088 กม.7+650



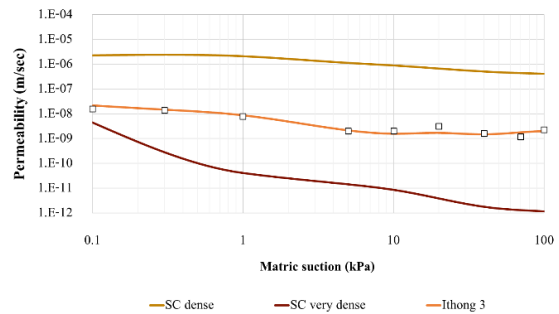
รูปที่ 2 แบบจำลองการการไหลซึม

โดยกำหนดคุณสมบัติของดินจากการศึกษาของ (Rajamanthri, Jotiskansa, Aramrak, & Engineering, 2021) และ (บวรพงศ์, 2564) ที่ได้ทำการทดสอบหาเส้นอัตราลักษณ์ของดินด้วยวิธีการวัดแบบจุด (Point Wise Measurement) โดยใช้ KU-Tensiometer ในการวัดแรงดูด ในการทดสอบแต่ละจุดจะทำการเปลี่ยนแปลงความชื้นโดยการเพิ่มหรือลดความชื้นขึ้นอยู่กับรูปแบบการทดสอบ Wetting path หรือ Drying path ในแต่ละจุดของการเพิ่มหรือลดความชื้นจะต้องมีการบ่มให้ความชื้นกระจายตัวทั่วทั้งตัวอย่างก่อนจึงจะทำการวัดแรงดูดได้ จากนั้นจึงทำการตรวจวัดแรงดูด (Suction) และได้ทดสอบหาค่าความสามารถในการไหลซึม

ของน้ำในมวลดิน (Permeability Function) ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ รูปที่ 3 เป็นการสรุปแสดงเส้นอัตราลักษณ์ของดินซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดและปริมาณน้ำโดยปริมาตรในมวลดิน และรูปที่ 4 เป็นการสรุปค่าความสามารถในการไหลซึมของน้ำในมวลดินที่นำมาใช้ในแบบจำลอง



รูปที่ 3 เส้นอัตราลักษณ์ของดิน



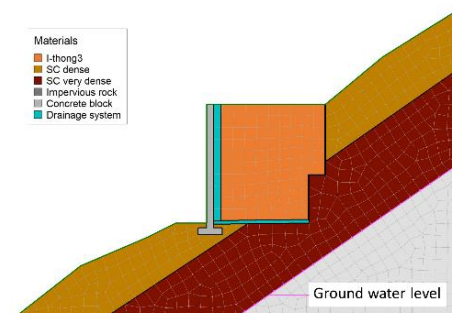
รูปที่ 4 ค่าความสามารถในการไหลซึมของน้ำในมวลดิน (Permeability Function)

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of Permeability) ของระบบระบายน้ำตามค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นโพลีเอทิลีนสังเคราะห์ (ไอริน, 2559) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 320 m/day หรือเท่ากับ 0.004 m/s

ในการจำลองปริมาณน้ำฝนได้นำข้อมูลพฤติกรรมกระจายความชื้นและปริมาณน้ำฝน (บวรพงศ์, 2564) มาสร้างแบบจำลองโดยใช้การสอบเทียบจากพฤติกรรมที่ตรวจวัดได้ในสนาม ในการศึกษานี้จำลองสภาวะฝนในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมสูงมาวิเคราะห์ลักษณะการไหลซึม

2.1.1 การวิเคราะห์การไหลซึมก่อนฝนตกในสภาวะคงที่ (Steady State)

สำหรับกรณีสภาวะคงที่ (Steady State) ของกำแพงกันดินเสริมแรงได้กำหนดระดับน้ำใต้ดินอยู่ในชั้นดินแข็งโดยอ้างอิงจากการสังเกตในสนาม ดังแสดงในรูปที่ 5

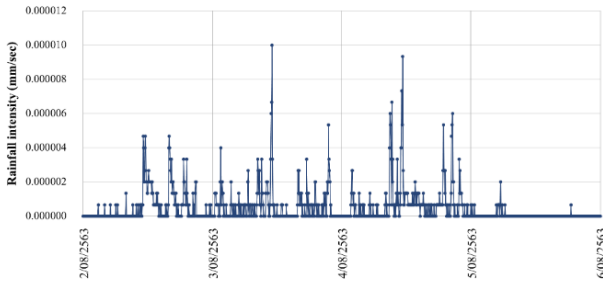


รูปที่ 5 แบบจำลองการไหลซึม ในสภาวะคงที่ (Steady State)

2.1.2 การวิเคราะห์การไหลซึมในแต่ละช่วงเวลา

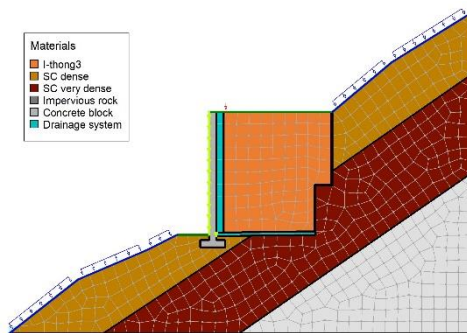
(Transient)

การไหลซึมแบบ Transient เป็นการวิเคราะห์ในแต่ละช่วงเวลา ในกรณีทำการวิเคราะห์ทุก 12 ชั่วโมง ในการศึกษานี้ได้เลือกข้อมูลน้ำฝน ในช่วงวันที่ 2-6 สิงหาคม 2563 ฝนตกติดต่อกัน 4 วัน โดยจำลองปริมาณ น้ำฝนตามข้อมูลการตรวจวัดในสนาม ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนสำหรับการวิเคราะห์การไหลซึม (Transient Analysis)

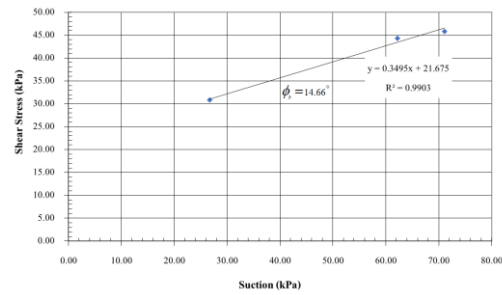
แบบจำลองการวิเคราะห์การไหลซึมแบบ Transient ได้มีการจำลอง ปริมาณน้ำฝน (Unit flux) ตามข้อมูลการตรวจวัดในสนามบริเวณ Back Slope และ Side Slope และได้จำลองการไหลซึมบริเวณรอยแตกที่เกิดขึ้น ในสนามซึ่งใกล้เคียงกับระยะระบายน้ำ ในการศึกษานี้จึงตั้งสมมติฐานว่าปริมาณ น้ำฝนที่ไหลซึมบริเวณรอยแตกนี้มีค่าเป็น 10 เท่าของปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ เพื่อให้สอดคล้องกับผลการตรวจวัดในสนามและได้มีการกำหนดให้สามารถ ระบายน้ำออกที่ผิวหน้าของกำแพง (Free drain) ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แบบจำลองการวิเคราะห์การไหลซึมในแต่ละช่วงเวลา (Transient)

2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรง

การวิเคราะห์เสถียรภาพภายใต้สภาวะฝนตกโดยใช้ SLOPE/W ใน โปรแกรม Geostudio 2012 ซึ่งเป็นการพิจารณาสมดุลจำกัดของมวลดิน (Limit Equilibrium) โดยอ้างอิงทฤษฎีในการวิเคราะห์ของ Spencer method การวิเคราะห์เสถียรภาพนี้จะนำผลจากการวิเคราะห์การไหลซึม ภายใต้สภาวะฝนที่ช่วงเวลาต่างๆมาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในแต่ละช่วง โดยกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุจากผลการทดสอบ แรงเฉือนแบบโดยตรงในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำดังแสดงในรูปที่ 8 และสามารถสรุปคุณสมบัติของดินได้ดังแสดงในตารางที่ 2

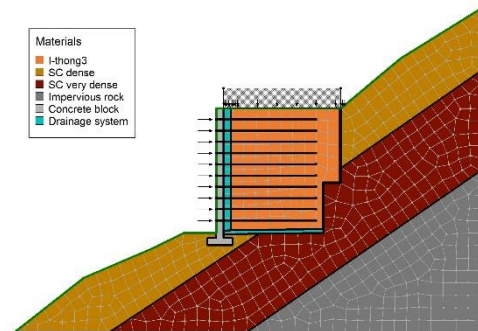


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและแรงดันน้ำด้านลบของวัสดุถม

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

Layer	Total Unit weight (kN/m ³)	ϕ (°)	ϕ_b (°)	Cohesion (kPa)
วัสดุถม(SC)	20	26.6	14.66	16
SC dense	19	38	As a function (from SWCC)	1
SC very dense	20	41	As a function (from SWCC)	1

กำแพงกันดินเสริมแรงในพื้นที่ กจ.4088 กม. 7+650 ได้มีการจำลอง น้ำหนักกดทับบริเวณด้านบนของวัสดุถม 10 kN/m และติดตั้งตาข่าย สังกะสีที่เสริมกำลัง (Geogrid) ระยะฝังไม่น้อยกว่า 7.5 เมตร และมีกำลัง รับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 40 kN/m ในทุกๆ 0.45 เมตร ตลอดความสูงของ กำแพง ดังแสดงในรูปที่ 9



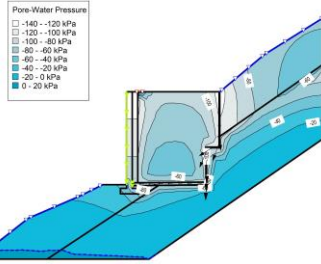
รูปที่ 9 แบบจำลองการวิเคราะห์เสถียรภาพ

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการวิเคราะห์การไหลซึม

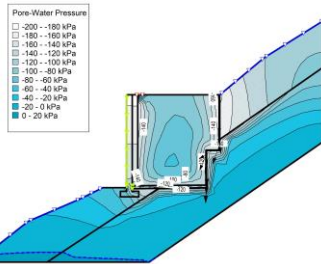
จากการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตกเป็นเวลา 4 วัน ซึ่ง จำลองกำแพงในสภาวะเสมือนกับในสนามโดยการเพิ่มตำแหน่งการเกิดรอย แตกซึ่งสามารถเป็นช่องทางในการซึมผ่านของน้ำลงสู่วัสดุถมได้ โดยอ้างอิง ข้อมูลน้ำฝนจากการตรวจวัดในสนามพบว่าน้ำฝนที่ซึมลงสู่ชั้นดินบริเวณ ด้านหลังกำแพงไหลซึมเข้าสู่ชั้นระบายน้ำบริเวณด้านหลังของวัสดุถมแสดง ให้เห็นพฤติกรรมของระบบระบายน้ำที่ทำหน้าที่ป้องกันน้ำไหลซึมเข้าสู่วัสดุ ถม ในกรณีนี้พบความชื้นภายในวัสดุถมเนื่องจากรอยแตกซึ่งเป็นช่องทาง

ของน้ำในการไหลซึมลงสู่วัสดุถมโดยตรง จากรูปที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตก 1 วัน ที่ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 4.7×10^{-7} m/sec แสดงให้เห็นน้ำฝนจากภายนอกกำแพงไหลซึมเข้าสู่ชั้นระบายน้ำ



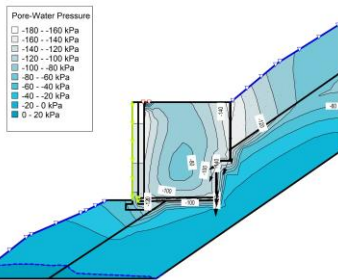
รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตก 1 วัน

รูปที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตกติดต่อกันเป็นเวลา 2 วัน โดยการจำลองปริมาณน้ำฝนตามการตรวจวัดในสนามพบว่าในวันที่ 2 มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ที่ 1×10^{-5} m/sec พบว่าแรงดันน้ำภายในวัสดุถมมีค่าเพิ่มขึ้น

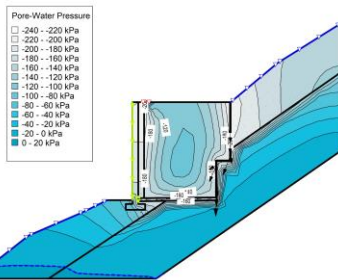


รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตก 2 วัน

จากรูปที่ 12 และ 13 ปริมาณน้ำฝนมีค่าลดลง ส่งผลให้แรงดันน้ำมีค่าลดลงตามเวลา แสดงให้เห็นว่าระบบระบายน้ำสามารถระบายความชื้นในวัสดุถมและช่วยลดแรงดันน้ำภายในกำแพงได้



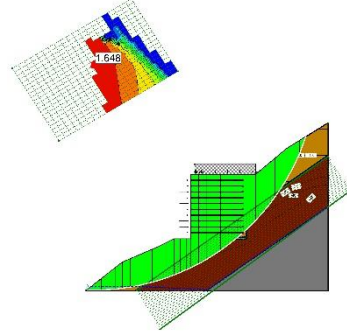
รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตก 3 วัน



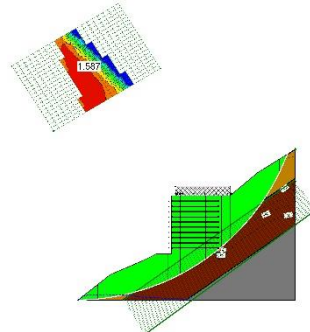
รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์การไหลซึมภายใต้สภาวะฝนตก 4 วัน

3.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรง

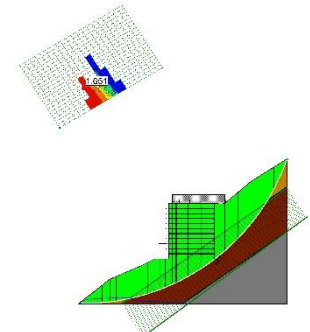
ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงภายใต้สภาวะฝนตกโดยอ้างอิงข้อมูลน้ำฝนและพฤติกรรมกระจายความชื้นจากการตรวจวัดในสนาม พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลงในช่วงที่ฝนตกหนักและมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ไม่มีฝน



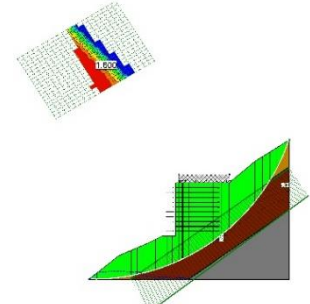
รูปที่ 14 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงก่อนฝนตก



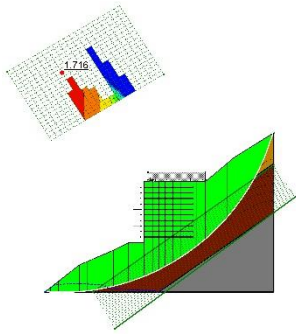
รูปที่ 15 เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงภายใต้สภาวะฝนตก 1 วัน



รูปที่ 16 เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงภายใต้สภาวะฝนตก 2 วัน

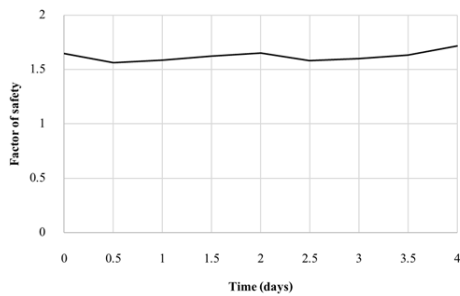


รูปที่ 17 เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงภายใต้สภาวะฝนตก 3 วัน



รูปที่ 18 เสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมแรงภายใต้สภาวะฝนตก 4 วัน

สามารถสรุปค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่างๆได้ดังแสดงในรูปที่ 19 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่สภาวะคงที่มีแรงดันน้ำสะสมในบริเวณที่เกิดการพิบัติส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าการจำลองภายใต้สภาวะฝนตกที่เวลา 4 วัน ซึ่งแรงดันน้ำเกิดการกระจายตัวภายในวัสดุถม



รูปที่ 19 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ระยะเวลาต่างๆ

Time (day)	Factor of safety
Initial	1.648
0.5	1.563
1	1.587
1.5	1.624
2	1.651
2.5	1.580
3	1.600
3.5	1.635
4	1.716

4. วิเคราะห์และสรุปผล

จากผลการศึกษาการไหลซึมของน้ำภายในวัสดุถมของกำแพงกันดินเสริมแรงโดยกำหนดเงื่อนไขให้สอดคล้องกับผลการตรวจวัดความชื้นของวัสดุถมในสนามทำให้เห็นพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลงสู่วัสดุถมภายในกำแพงกันดินเสริมแรงจากด้านหลังของกำแพงและการไหลซึมผ่านรอยแตกของรางระบายน้ำ จากแบบจำลองพบว่าความชื้นในส่วนบนของวัสดุถมเพิ่มขึ้นเนื่องจากการจำลองรอยแตกด้านและเกิดการไหลซึมเข้าสู่กึ่งกลางของวัสดุถม และยังแสดงให้เห็นพฤติกรรมของระบบระบายน้ำที่ทำหน้าที่ป้องกันน้ำไหลซึมเข้าสู่วัสดุถมและระบายน้ำออกด้านหน้าของกำแพงเพื่อ

ลดแรงดันน้ำภายในวัสดุถม เมื่อนำแบบจำลองการไหลซึมในแต่ละช่วงเวลาไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ พบว่าเมื่อเกิดฝนตกและมีการไหลซึมของน้ำเข้าสู่วัสดุถมทำให้แรงดันน้ำภายในเพิ่มขึ้นซึ่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลง และลักษณะการกระจายความชื้นภายในวัสดุถมสอดคล้องกับการตรวจวัดในสนาม

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภินิติ โชติสังกาศ. (2555). กลศาสตร์ของดินไม่อิ่มน้ำ: หจก.พีริวัน.
- [2] อภินิติ. (2551). IMPORTANCE OF SOIL SUCTION IN GEOTECHNICAL ENGINEER. ความสำคัญของแรงดันน้ำด้านลบหรือแรงดูดในงานวิศวกรรมปฐพี .
- [3] บวรพงศ์ สุขเจริญ, อภินิติ โชติสังกาศ, วรากร ไม้เรียง และประภิต ไชยศรี (2564). การศึกษาพฤติกรรมการกระจายความชื้นในสนามของกำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้วัสดุถมต่างกัน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26.
- [4] วชิรวดี ประภัสสร. การศึกษาพฤติกรรมระยะยาวของแรงดันน้ำในกำแพงกันดินเสริมแรง กรณีศึกษาทางหลวงชนบท กจ.4088 ต.ปี่ลือก จ.กาญจนบุรี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 24.
- [5] ประภิต ไชยศรี. การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างคอสพานแบบกำแพงกันดินเสริมแรง : กรณีศึกษาสะพานวังเย็น อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25.
- [6] ไอริน ลิ้มรัตน์. (2559). อิทธิพล ของ คุณสมบัติ เจริง ชล ศาสตร์ ในดิน ถม และ วัสดุ ระบาย น้ำ โย สังเคราะห์ ต่อ การ ระบาย น้ำ ในกำแพง กัน ดิน เสริม กำล้ง. สาขา วิชา วิศวกรรม โยธา สำนัก วิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี สุร นารี,
- [7] Jotiskansa, A., (2012). Application of Geocomposite Reinforcement for Repairing A 15m High Road Embankment Slop Failure in Northern Thailand
- [8] Jotiskansa, A., Rurgchaisri, N. J. G., & Geomembranes. (2018). Shear strength of interfaces between unsaturated soils and composite geotextile with polyester yarn reinforcement. 46(3), 338-353.
- [9] Rajamanthri, K., Jotiskansa, A., Aramrak, S. J. I. J. o. G., & Engineering, G. (2021). Effects of Chrysopogon zizanioides root biomass and plant age on hydro-mechanical behavior of root-permeated soils. 7(2), 1-13.
- [10] Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R. J. J. o. G., & Engineering, G. (1977). Stress state variables for unsaturated soils. 103(ASCE 12919)
- [11] Hillel, D. (2003). Introduction to environmental soil physics: Elsevier

- [12] Berg, R. R., Christopher, B. R., & Samtani, N. C. (2009). Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes: US Department of Transportation, Federal Highway Administration, National