

พฤติกรรมของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนเสริมวัสดุ GFRP

Behavior of Nano Block Retaining Walls Reinforced with GFRP Bars

อัฒพล บุบปี¹ ยงยุทธ ศิริศรีเพ็ชร^{1*} ปราชญ์ อมรภิญโญ¹ ธวัชชัย โทอินทร์¹ ภคพร ยอดศิริ¹ และ
พงศกร พวงชมพู²

Attaphol Bubpi¹ Yongyuth Sirisriphet^{1*} Prach Amornpinyo¹ Tawatchai Tho-In¹
Pakaphorn Yodsiri¹ and Pongsagorn Pongchompu²

Received: October 9, 2022; Revised: December 13, 2022; Accepted: December 13, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเรื่องพฤติกรรมของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนเสริมวัสดุ GFRP มีการทดสอบตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ตัวอย่างแบบไม่เสริมแรง และตัวอย่างแบบเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร ภายใต้แรงดึง 30 ปอนด์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโน ขนาดความสูง 1.62 เมตร กว้าง 2.00 เมตร หนา 0.20 เมตร การทดลองพบว่า กำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนที่ถูกเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวราบได้ดีกว่ากำแพงกันดินที่ไม่มีการเสริมแรง ในขณะเดียวกันกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนที่ถูกเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ที่มีขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร ได้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดเท่ากับ 2.43 3.40 และ 4.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : กำแพงกันดิน; วัสดุพลาสติกเสริมเส้นใยแก้ว; อิฐบล็อกนาโน

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

¹ Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus

² Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, KhonKaen Campus

* Corresponding Author, Tel. 08 1769 9559, E - mail: yongyuth.si@rmuti.ac.th

Abstract

This paper presented the results of 4 types nano block retaining walls. They were divided into non-reinforced and reinforced GFRP with diameters of 6, 9 and 12 mm with tensile strength of 30 lb. Nano block retaining walls with dimensions of 1.62 meters high, 2.00 meters wide, 0.20 meters thickness were used to study their horizontal movement behavior. The results of the experiment showed that nano block retaining walls reinforced with GFRP had better resistance to horizontal movement than non-reinforced retaining walls. At the same time, nano block retaining wall reinforced with GFRP with tensile strength of 30 lb with dimensions of 6, 9 and 12 mm had average maximum values of horizontal displacement of 2.43, 3.40 and 4.37 mm, respectively.

Keywords: Retaining Wall; GFRP; Nano Block

บทนำ

ในปัจจุบันมีการถมที่เพื่อใช้ในการก่อสร้างจำนวนมาก เป็นผลทำให้พื้นที่บริเวณข้างเคียงมีระดับความสูงของดินถมที่ต่างระดับกัน และเนื่องจากราคาที่ดินที่สูงขึ้นในแต่ละปี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างคันดินถมหรือกำแพงกันดินที่สูงและชัน โดยปราศจากความลาดชันด้านข้าง ในการก่อสร้างกำแพงกันดินที่สูงและชัน โครงสร้างของกำแพงกันดินจำเป็นต้องมีความสามารถในการต้านทานแรงดันดินทางด้านข้าง ซึ่งนอกจากระดับความสูงที่แตกต่างกันที่มีผลต่อแรงดันดินด้านข้างแล้วชนิดของดินที่อยู่บริเวณโดยรอบกำแพงกันดินหรือแม้แต่ความแข็งแรงของโครงสร้างที่อยู่ใต้กำแพงกันดิน ก็ส่งผลแรงดันดินที่เกิดขึ้น [1] - [4] ดังนั้นกำแพงกันดินมักจะได้รับการออกแบบด้วยการเสริมแรงเพื่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ซึ่งในปัจจุบันมีการเลือกใช้วัสดุในการเสริมแรงในกำแพงกันดินที่หลากหลาย [5] - [9]

งานวิจัยนี้มีความสนใจในอิฐบล็อกนาโนซึ่งเป็นวัสดุทางเลือก โดยใช้กระบวนการหล่อแบบเปียก (Wet Process) มีส่วนผสมของซีเมนต์ ทรายหยาบ หินเกล็ด และน้ำ เป็นคอนกรีตเบาที่มีน้ำหนักก้อนละ 5 กิโลกรัม ใช้หลักการของระบบการก่อสร้างแบบโมดูลาร์ (Modular Building Method) เพื่อให้การก่อสร้างลดการเสียเศษวัสดุ ทำงานได้รวดเร็วขึ้น ทำหน้าที่เป็นผนัง เสา คานคอดิน เอ็น ไดโนตัวเดียวกัน ซึ่งเป็นผนังรับแรง (Wall Bearing) ทำให้มีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษกว่าระบบการก่อสร้างเสา-คาน ทำได้ในท้องถิ่น และสามารถก่อสร้างได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ [9] - [10] อีกทั้งอิฐบล็อกนาโนเป็นวัสดุที่เป็นนวัตกรรมใหม่

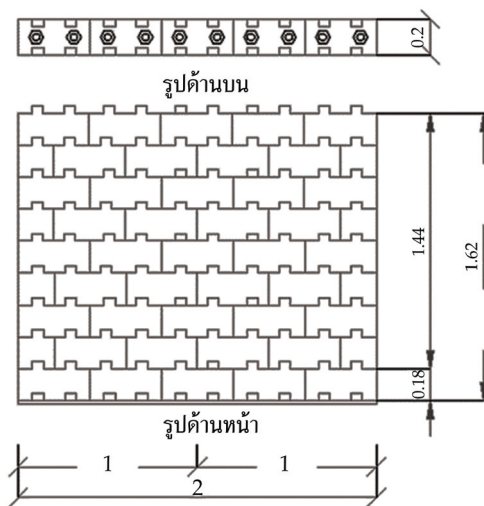
ด้านการเสริมแรงให้โครงสร้างกำแพงกันดิน [11] ได้ศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบที่มีการเสริมกำลังด้วยเหล็กสตัด 12 มิลลิเมตร และให้แรงที่ 20 ปอนด์ ได้ผลการเคลื่อนที่ในแนวราบอยู่ที่ 5 มิลลิเมตร ผลการทดลองสรุปได้ว่าการเสริมเหล็กและการยึดโครงสร้างช่วยเพิ่มความมั่นคงของกำแพงกันดินนาโนบล็อกนาโนในแง่ของกำลังรับแรงอัดด้านข้าง [12] ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงพฤติกรรมของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบที่มีการเสริมกำลังด้วยเหล็กสตัด 12 มิลลิเมตร และแบบมีสมอรั้งโดยให้แรงที่ 10 ปอนด์ ได้ผลการเคลื่อนที่ในแนวราบอยู่ที่ 2.9 มิลลิเมตร ผลที่ได้จากการทดสอบกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นเหล็กเสริมแรงมีสมอรั้ง มีเสถียรภาพมากกว่ารูปแบบอื่น โดยพิจารณาจากการเคลื่อนตัวในแนวราบน้อยที่สุด

แต่ปัจจุบันมีวัสดุหลากหลายชนิด อาทิเช่น วัสดุ AFRP วัสดุ CFRP และที่ได้รับความนิยมสูง ได้แก่ วัสดุ GFRP เนื่องจากวัสดุ GFRP มีความสามารถในการทนทานต่อแรงกัดกร่อนของคลอไรด์ได้ดี กล่าวคือไม่เป็นสนิม และมีความสามารถในการต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าเหล็กเสริม อย่างไรก็ตาม วัสดุ GFRP มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำและพฤติกรรมเปราะกว่าเหล็กเสริม เนื่องจากไม่มีกำลังคราก [13] - [17] ที่ถูกนำมาใช้แทน

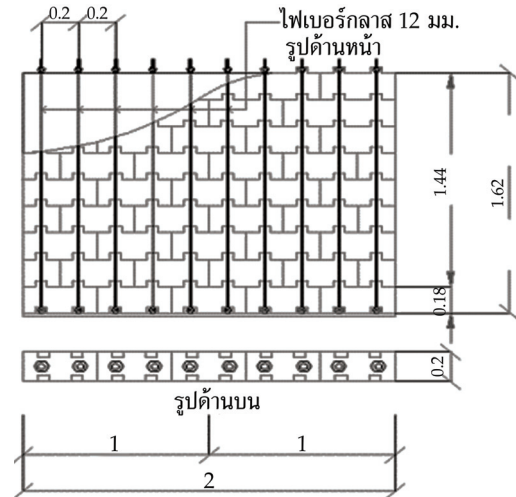
การเสริมเหล็ก เช่น งานคานคอนกรีตเสริมเหล็ก งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก กำแพงรับแรงเฉือน เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัสดุ GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) มาใช้ในการศึกษาถึงพฤติกรรมเมื่อนำมาเสริมในโครงสร้างกำแพงกันดิน

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปทางด้านข้างของกำแพงกันดินก่ออิฐบล็อกนาโนครึ่งแผ่นจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น แบบไม่เสริมแรง ดังรูปที่ 1(ก) และเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ที่มีขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร จำนวน 10 เส้น ซึ่งถูกเสริมด้วยแรงขนาด 30 ปอนด์ (งานวิจัยนี้เลือกใช้แรงขนาด 30 ปอนด์ เนื่องจากการให้แรงที่มีขนาดเกินกว่า 30 ปอนด์ มีผลทำให้โครงสร้างบางส่วนของอิฐบล็อกนาโนเกิดความเสียหาย) เท่ากันและมีการติดตั้งเครื่องวัดแบบละเอียด เพื่อวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินทั้งหมด 5 จุด โดยกำแพงกันดินที่ทำการทดสอบมีขนาดความสูง 1.62 เมตร กว้าง 2.00 เมตร หนา 0.20 เมตร ดังรูปที่ 1(ข)



(ก) กำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นไม่เสริมแรง



(ข) กำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นเสริม GFRP

รูปที่ 1 ขนาดของตัวอย่างทดสอบกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่น

วิธีการทดสอบ

1. ทำการเรียงอิฐแนวตรงชิดกันทุกก้อนจนถึงชั้นสุดท้ายและให้เดือยของอิฐบล็อกนาโนลงช่องพอดี้และให้ไต่ระดับทุกชั้น (ถ้าเป็นแบบเสริมแรงนั้นจะมีการเตรียมชุดทดสอบและเสริมวัสดุ GFRP จำนวน 10 เส้น) ดังรูปที่ 2
2. ทำการชั่งน้ำหนักทรายและเติมทรายทุกชั้นจะมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,495 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถึงชั้นบนสุด
3. ติดตั้ง Hydraulic Jack และ Dial Gauge เพื่อวัดการทรุดตัวของทรายในแนวตั้ง 2 ตัว ดังรูปที่ 3(ก)
4. ติดตั้ง Dial Gauge วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินจำนวน 5 ตัว ที่ระดับ 0.09 0.45 0.81 1.17 และ 1.53 เมตร ตามลำดับ โดยกำหนดให้ตำแหน่งบนสุดของกำแพงเป็น 0.00 เมตร ดังรูปที่ 3(ข)
5. ทำการให้แรงเป็นช่วง ๆ และแต่ละช่วงกำหนดที่การทรุดตัวของทรายถม 1.00 มิลลิเมตร และทำการบันทึกผลการเคลื่อนตัวแนวราบของกำแพงอิฐบล็อกนาโน

6. ทำการทดสอบได้ค่าการทรุดตัวของทรายที่ 25 มิลลิเมตร และทำการบันทึกผลการเคลื่อนตัวแนวราบที่มีค่าสูงสุดของกำแพงอิฐบล็อกจากโน

7. ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง การบันทึกการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดิน เพื่อเป็นข้อมูลแนวโน้มการเคลื่อนตัว เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดิน



รูปที่ 2 วัสดุ GFRP



(ก) กำแพงกันดินอิฐบล็อกจากโน



(ข) การติดตั้ง Dial Gauge ในแนวราบ

รูปที่ 3 การติดตั้งตัวอย่างการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ มีคุณสมบัติดังนี้

1. อิฐบล็อกจากโน

อิฐบล็อกจากโนที่ใช้ศึกษาครั้งนี้มีขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และสูง 18 เซนติเมตร มีน้ำหนักต่อก้อน ประมาณ 15 กิโลกรัม เป็นอิฐบล็อกจากโน รุ่นคอนกรีตผนังรับแรง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 อิฐบล็อกจากโน

2. วัสดุ GFRP

วัสดุ GFRP ที่ใช้ในการเสริมแรงในโครงสร้างกำแพงกันดินอิฐบล็อกจากโนมีขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1 จำนวน 10 เส้น ยาวตลอดแนวความสูงของกำแพงกันดินอิฐบล็อกจากโน 1.62 เมตร ดังรูปที่ 2 และที่ปลายทั้งสองข้างถูกขันล็อกด้วยน็อตและเสริมแรงดิ่งขนาด 30 ปอนด์

3. ทราย

ทรายที่ใช้จำลองการถมดิน มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ $FM = 1.78$ มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,695 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

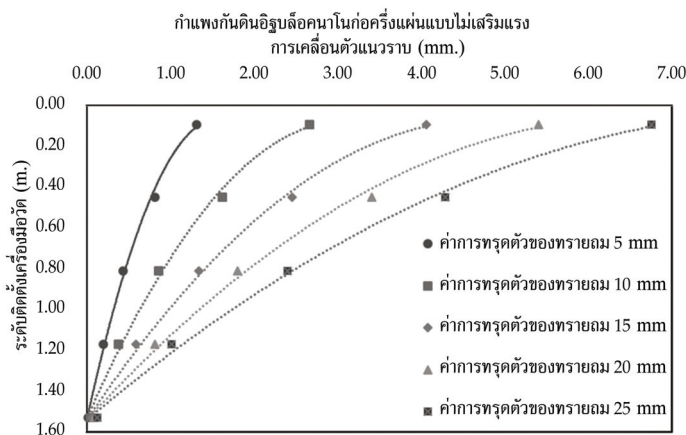
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังดึงของวัสดุ GFRP ที่ใช้ในการทดสอบ

รายการ	ขนาดวัสดุ GFRP		
	6 มิลลิเมตร	9 มิลลิเมตร	12 มิลลิเมตร
พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	0.28	0.63	1.13
แรงเค้นดึงสูงสุด (ksc)	8,409	7,437	6,920
% การยืดตัว	49 %	50 %	52 %

ผลการทดลองและวิจารณ์

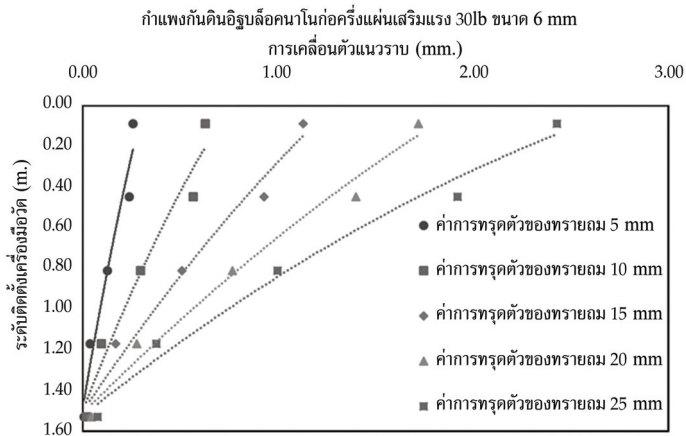
ทำการศึกษาแบบจำลองต้นแบบ (Prototype Model) จนมั่นใจว่าไม่มีข้อผิดพลาดจึงได้นำมาสร้างเป็นชุดทดสอบขนาดใหญ่ (Large Scale) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร ให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาสร้างกราฟเพื่อหาเส้นแนวโน้มค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมแรงด้วย GFRP ได้ผลการทดสอบดังนี้

ผลการทดสอบการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบไม่เสริมแรง ซึ่งควบคุมการทรุดตัวของทรายถมที่ 25 มิลลิเมตร วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 6.86 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งบนสุดของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโน จากกราฟพบว่าเส้นแนวโน้มการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนเป็นเส้นโค้ง เส้นแนวโน้มการเคลื่อนตัวในแนวราบมากขึ้นเมื่อค่าการทรุดตัวของทรายสูงขึ้น และลักษณะการเคลื่อนตัวของอิฐบล็อกนาโนแต่ละก้อนเคลื่อนตัวเป็นทั้งแบบอิสระดังรูปที่ 5



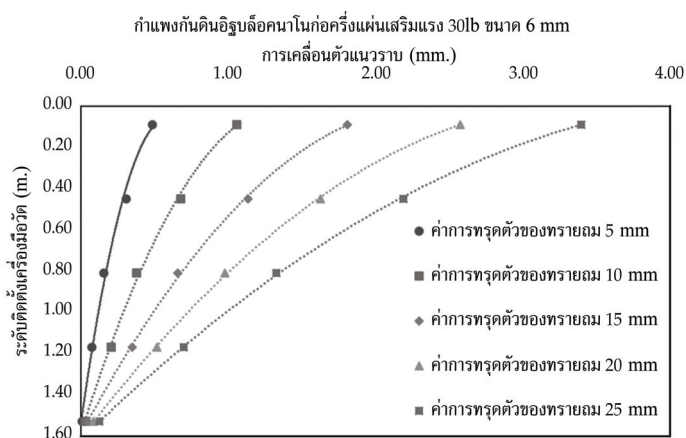
รูปที่ 5 กราฟการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบไม่เสริมแรง

ผลการทดสอบการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร ให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ซึ่งควบคุมการทรุดตัวของทรายถมที่ 25 มิลลิเมตร วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบมีค่าที่สุดเท่ากับ 2.43 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งบนสุดของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร จากกราฟพบว่าเส้นแนวโน้มการเคลื่อนตัวในแนวราบมากขึ้นเมื่อค่าการทรุดตัวของทรายสูงขึ้นและลักษณะการเคลื่อนตัวของอิฐบล็อกนาโนแต่ละก้อนเคลื่อนตัวเป็นทั้งแบบกลุ่มดังรูปที่ 6



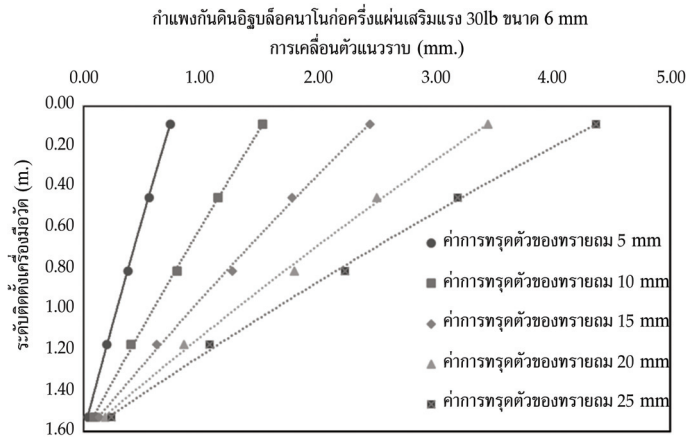
รูปที่ 6 กราฟการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร ให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ซึ่งควบคุมการทรุดตัวของทรายถมที่ 25 มิลลิเมตร วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบมีค่าที่ต่ำสุดเท่ากับ 3.40 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งบนสุดของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร จากกราฟพบว่าเส้นแนวโน้มการเคลื่อนที่ในแนวราบมากขึ้นเมื่อค่าการทรุดตัวของทรายเป็นสูงชันและลักษณะการเคลื่อนที่ของอิฐบล็อกนาโนแต่ละก้อนเคลื่อนที่เป็นทั้งแบบกลุ่มดังรูปที่ 7



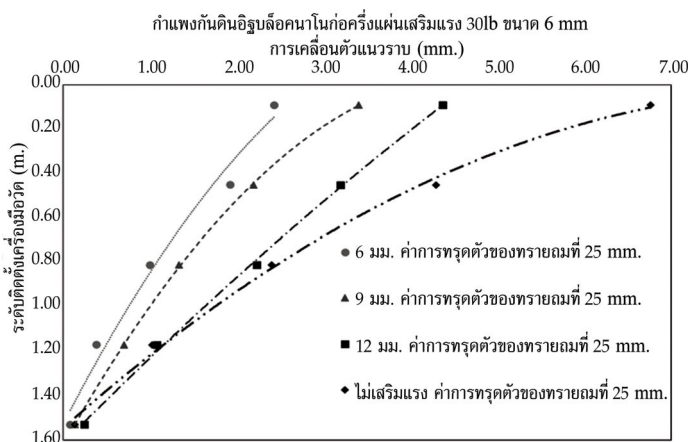
รูปที่ 7 กราฟการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร ให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ซึ่งควบคุมการทรุดตัวของทรายถมที่ 25 มิลลิเมตร วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบมีค่าที่ต่ำสุดเท่ากับ 4.37 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งบนสุดของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร จากกราฟพบว่าเส้นแนวโน้มการเคลื่อนที่ในแนวราบมากขึ้นเมื่อค่าการทรุดตัวของทรายเป็นสูงชันและลักษณะการเคลื่อนที่ของอิฐบล็อกนาโนแต่ละก้อนเคลื่อนที่เป็นทั้งแบบกลุ่มดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร

ผลการเปรียบเทียบทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบไม่เสริมแรงและแบบเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตรให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ซึ่งควบคุมการทรุดตัวของทรายถมที่ 25 มิลลิเมตร วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.86 2.43 3.40 และ 4.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ตำแหน่งบนสุดของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโน ดังรูปที่ 9 จากการทดลองพบว่าเส้นแนวโน้มการเคลื่อนที่ในแนวราบมากขึ้นเมื่อค่าการทรุดตัวของทรายสูงขึ้นและลักษณะการเคลื่อนที่ของอิฐบล็อกนาโนแต่ละก้อนเคลื่อนที่เป็นทั้งแบบกลุ่ม

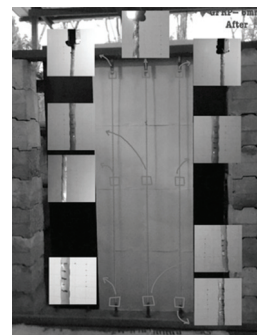
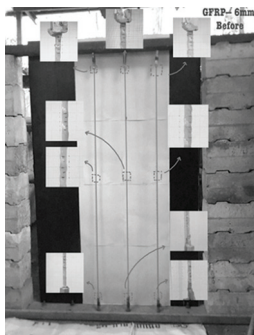


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบก่อครึ่งแผ่นแบบไม่เสริมแรงและแบบเสริมแรงด้วย GFRP ขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร

เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ขนาด 6 9 และ 12 มิลลิเมตร ให้แรงดึงในวัสดุ GFRP ที่ 30 ปอนด์ พบว่าโครงสร้างกำแพงกันดินแบบอิฐบล็อกนาโนที่เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะเมื่อพิจารณาจากผลการดึงวัสดุ GFRP ด้วยแรงขนาด 30 ปอนด์ วัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร มีการบิดตัวและมีการดึงตัวเป็นแนวเส้นตรงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าแรงดึงที่ให้เข้าไปในวัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตรนั้นเป็นช่วงแรงที่เหมาะสมต่อพื้นที่หน้าตัด จึงทำให้โครงสร้างที่เสริมแรงวัสดุ GFRP ขนาดดังกล่าวมีความแข็งแรงและมีความสามารถต้านทานแรงดันด้านข้างให้กับโครงสร้างกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 9 และ 12 มิลลิเมตร ร้อยละของการเคลื่อนที่ที่ต่างจากขนาด 9 และ 12 มิลลิเมตร อยู่ที่ร้อยละ 28.6 และ 44.3

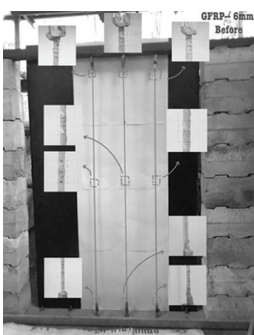
จะเห็นได้ว่าขนาดของวัสดุ GFRP และขนาดของแรงดึงมีผลต่อพฤติกรรมการเสียรูปทางด้านข้างของกำแพงกันดิน ดังนั้นในการออกแบบ จึงควรคำนึงถึงความเหมาะสมระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุ GFRP และขนาดของแรงดึง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการต้านทานการเสียรูปทางด้านข้างของกำแพงกันดิน

เปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนและหลังให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ในวัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร การทดสอบพบว่าก่อนมีการให้แรงในวัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร มีลักษณะตรงและไม่โค้งงอ ดังรูปที่ 10(ก) และเมื่อมีการให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ วัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร เกิดการบิดตัวมากและยืดตัวเป็นเส้นตรงและดึงตัวมากไปพร้อมกัน บริเวณที่เกิดการยืดตัวคือ ส่วนหัวและท้าย ซึ่งเป็นส่วนที่มีการให้แรงโดยตรง วัดระยะการยืดตัวได้ 5 มิลลิเมตร วัสดุ GFRP มีลักษณะยึดตรงตามแนวดิ่งและมีความดึงตัวสูง ดังรูปที่ 10(ข)



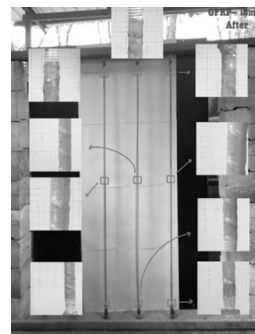
(ก) วัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร ก่อนดึง (ข) วัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร หลังดึง
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนและหลังให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ในวัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร

เปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนและหลังให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ในวัสดุ GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร การทดสอบพบว่าก่อนมีการให้แรงในวัสดุ GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร มีลักษณะตรงและโค้งงอ ดังรูปที่ 11(ก) และเมื่อมีการให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ วัสดุ GFRP ขนาด 6 มิลลิเมตร เกิดการหมุนบิดและยืดตัวตรงขึ้นจากเดิม บริเวณที่เกิดการยืดตัวคือส่วนกลางของวัสดุพลาสติกเสริมเส้นใยแก้ว วัดระยะการยืดตัวได้ 2 มิลลิเมตร วัสดุ GFRP มีลักษณะยึดตรงตามแนวดิ่งและมีความดึงตัว ดังรูปที่ 11(ข)



(ก) วัสดุ GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร ก่อนดึง (ข) วัสดุ GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร หลังดึง
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนและหลังให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ในวัสดุ GFRP ขนาด 9 มิลลิเมตร

เปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนและหลังให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ในวัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร การทดสอบพบว่าก่อนมีการให้แรงในวัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร มีลักษณะตรงและไม่โค้งงอค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 12(ก) และเมื่อมีการให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ วัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร เกิดการหมุนบิดและไม่มีการยืดตัวยังคงโค้งงออยู่ ดังรูปที่ 12(ข)



(ก) วัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร ก่อนดึง (ข) วัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร หลังดึง
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนและหลังให้แรงดึงขนาด 30 ปอนด์ ในวัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของโครงสร้างกำแพงกันดินแบบอิฐบล็อกนาโนที่เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีความแข็งแรงมากกว่าแบบอิฐบล็อกนาโนที่ไม่มีการเสริมแรง เห็นได้จากร้อยละของการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ลดลง เมื่อเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ขนาด 6.9 และ 12 มิลลิเมตร และให้แรงที่ 30 ปอนด์ มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่เสริมแรงอยู่ที่ร้อยละ 64.6 50.5 และ 36.3 ตามลำดับ จากผลการทดสอบจะเห็นว่าผลของการเสริม GFRP 6 มิลลิเมตร มีค่าการเคลื่อนตัวน้อยกว่า แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของวัสดุ

สรุปและอภิปรายผล

ผลการทดสอบการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนแบบก่อครึ่งแผ่นแบบไม่เสริมแรงได้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวในแนวราบสูงสุดเท่ากับ 6.86 มิลลิเมตร และผลการทดสอบการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนก่อครึ่งแผ่นแบบเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP ภายใต้แรงดึง 30 ปอนด์ ที่มีขนาด 6.9 และ 12 มิลลิเมตร ได้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวในแนวราบสูงสุดเท่ากับ 2.43 3.40 และ 4.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อนำวัสดุ GFRP มาเสริมแรงในโครงสร้างกำแพงกันดินอิฐบล็อกนาโนทำให้โครงสร้างสามารถต้านทานการเสียดรูปในแนวราบได้ดีขึ้น จะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของกำแพงกันดินในแนวราบลดลง อีกทั้งวัสดุ GFRP ยังมีคุณสมบัติในการทนทานต่อการกัดกร่อนของคลอไรด์ ไม่เป็นสนิม และมีความสามารถในการต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าเหล็ก ดังนั้นผู้วิจัยคิดว่าวัสดุ GFRP อาจเป็นวัสดุทางเลือกที่น่าสนใจในงานโครงสร้างกำแพงกันดินในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

References

- [1] Bubpi, A., Amornpinyo, P., and Teerawong, J. (2022). Comparison of Retaining Walls from Half-Panel Interlocking Bricks with Dry Joints Reinforced with GFRP Material and Stud Steel. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 15, No. 2, pp. 107-117

- [2] Prongmanee, N. and Noulmanee, A. (2020). Properties of Chiang Khrua Lateritic Soil and Their Applications in Civil Engineering. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 13, No. 3, pp. 14-30
- [3] Rahmaninezhad, S. M. and Han, J. (2021). Lateral Facing Deflections of Geosynthetic-Reinforced Retaining Walls Under Footing Loading. **Transportation Geotechnics**. Vol. 30, p. 100594. DOI: 10.1016/j.trgeo.2021.100594
- [4] Gao, J., Liu, L., Zhang, Y., and Xie, X. (2022). Deformation Mechanism and Soil Evolution Analysis Based on Different Types Geogrid Reinforced Foundation. **Construction and Building Materials**. Vol. 331, p. 127322. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127322
- [5] Li, L. H., Yu, C. D., Xiao, H. L., Feng, W. Q., Ma, Q., and Yin, J. H. (2020). Experimental Study on the Reinforced Fly Ash and Sand Retaining Wall Under Static Load. **Construction and Building Materials**. Vol. 248, p. 118678. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118678
- [6] Arefnia, A., Dehghanbanadaki, A., and Kassim, K. A. (2021). Sustainable Implementation of Recycled Tire-Derived Aggregate as a Lightweight Backfill for Retaining Walls. **KSCE Journal of Civil Engineering**. Vol. 25, No. 11, pp. 4196-4206. DOI: 10.1007/s12205-021-0218-3
- [7] Wang, J. Q., Zhang, L. L., Tang, Y., and Huang, S. B. (2021). Influence of Reinforcement-Arrangements on Dynamic Response of Geogrid-Reinforced Foundation Under Repeated Loading. **Construction and Building Materials**. Vol. 274, p. 122093. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122093
- [8] Liu, S., Fan, K., and Xu, Si. (2021). Field Study of a Retaining Wall Constructed with Clay-Filled Soilbags. **Geotextiles and Geomembranes**. Vol. 47, Issue 1, pp. 87-94. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2018.11.001
- [9] Villemus, B., Morel, J. C., and Boutin, C. (2007). Experimental Assessment of Dry Stone Retaining Wall Stability on a Rigid Foundation. **Engineering Structures**. Vol. 29, Issue 9, pp. 2124-2132. DOI: 10.1016/j.engstruct.2006.11.007
- [10] Colas, A. S., Garnier, D., and Morel, J. C. (2013). Yield Design Modelling of Dry Joint Retaining Structures. **Construction and Building Materials**. Vol. 41, pp. 912-917
- [11] Tanakrit, B., Attaphol, B., Sorasak, S., and Pongsagorn, P. (2017). Strength and Behaviors of Dry-Joint Retaining Nano-Block. In **Proceedings of the 22 National Convention on Civil Engineering**. pp. 338-345
- [12] Pongsagorn, P., Tanakrit, B., and Attaphol, B. (2019). Study on Behavior of Retaining Wall Nanotube Blocks with Anchor. **International Journal of Geomate**. Vol. 16, No. 54, pp. 42-48
- [13] Nanni, A. (2003). North American Design Guidelines for Concrete Reinforcement and Strengthening Using FRP: Principles, Applications and Unresolved Issues. **Construction and Building Materials**. Vol. 17, Issue 6-7, pp. 439-446. DOI: 10.1016/S0950-0618(03)00042-4
- [14] Hamzeh, L., Hassanein, A., and Galal, K. (2020). Numerical Study on the Seismic Response of GFRP and Steel Reinforced Masonry Shear Walls with Boundary Elements. **Structures**. Vol. 28, pp. 1946-1964
- [15] Ceroni, F., Cuzzilla, R., and Pecce, M. (2016). Assessment of Performance of Steel and GFRP Bars as Injected Anchors in Masonry Walls. **Construction and Building Materials**. Vol. 123, pp. 78-98. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.124

- [16] Ketkan, W. and Khamphala, A. (2010). A Model of Maximum Pullout Force of Bearing Reinforcement Stabilized on Compacted Sandy Soil. **RMUTI JOURNAL**. Vol. 3, No. 1, pp. 1-9
- [17] Thumrongvut, J., Seangatith, S., and Kumlue, K. (2013). Tests on Structural Behaviors of Precast Partially-Prestressed Concrete Beam's Joints. **RMUTI JOURNAL**. Vol. 6, No. 2, pp. 15-30