

เปรียบเทียบกำแพงกันดินจากอิฐประสานแบบก่อครึ่งแผ่นจุดต่อแห้ง
เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียว

Comparison of Retaining Walls from Half-Panel Interlocking Bricks with Dry Joints Reinforced with GFRP Material and Stud Steel

อัฒพล บุบปี¹ ปราชญ์ อมรภิญโญ^{1*} และจารึก ทีระวงษ์²

Attaphol Bubpi¹ Prach Amornpinyo^{1*} and Jaruek Teerawong²

Received: June 30, 2022; Revised: July 26, 2022; Accepted: July 27, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองกำแพงกันดินอิฐประสานแบบก่อครึ่งแผ่นจุดต่อแห้งเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียว เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดิน โดยกำแพงกันดินมีความสูง 1.60 เมตร กว้าง 2.00 เมตร เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงอัดที่ 10 20 และ 30 ปอนด์ มีการจำลองให้แรงดันดินด้านข้างผ่านการทรุดตัวของทรายภายในโมลเหล็กและมีการวัดค่าการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดิน ผลการทดสอบกำแพงกันดินอิฐประสานแบบก่อครึ่งแผ่นจุดต่อแห้งเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบสูงสุดที่ 4.87 3.82 และ 3.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ และผลการทดสอบกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียว มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบสูงสุดที่ 7.05 5.40 และ 4.74 มิลลิเมตร ตามลำดับ และผลการเปรียบเทียบการเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบน้อยกว่าแบบเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียว 30.92 29.26 และ 31.33 % ตามลำดับ

คำสำคัญ : กำแพงกันดิน; GFRP; จุดต่อแห้ง

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

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

² Department of Civil Engineering, Khon Kaen University

* Corresponding Author, Tel. 08 9419 5555, E - mail: prach.am@rmuti.ac.th

Abstract

This research aimed to compare a half-panel interlocking brick retaining wall model reinforced with GFRP material against one reinforced with steel stud. To study the behavior of horizontal movement of the retaining walls, a model with the size of 1.60 meter height and 2.00 meter width was reinforced with GFRP material and steel stud of compressive strength of 10, 20, and 30 lbs. Lateral soil pressure was applied and it transmitted the settlement of sand in the steel model after which its horizontal displacement was considered. The test results of the half-panel interlocking bricks with dry junction reinforced with GFRP material had the highest horizontal displacement values of 4.87, 3.82, and 3.25 millimeters, respectively, and showed higher values than those of steel stud reinforced samples by 4.74, 5.40, and 7.05 millimeter, respectively. The GFRP reinforced material showed less horizontal movement compared to those of reinforced with steel stud by 30.92, 29.26, and 31.33 %, respectively.

Keywords: Retaining Wall; GFRP; Dry Joint Masonry

บทนำ

การก่อสร้างอาคารบ้านเรือน หรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ในปัจจุบัน มักพบการถมดินที่สูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำท่วมขัง หรือเพื่อความสวยงาม และสิ่งที่ตามมาคือ ปัญหาการพังทลายของดินหรือการสไลด์ของดินที่ถมใหม่อยู่เสมอ ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบควรคำนึงถึง ความแข็งแรงของกำแพงกันดิน (Retaining Walls) ซึ่งถือเป็นรูปแบบโครงสร้างที่ต้องได้รับการออกแบบให้มีความทนทานเป็นพิเศษ กำแพงกันดินสามารถจำแนกออกเป็น 5 ชนิด [1]

1. Gravity Wall นิยมนำมาก่อสร้างในงานกันดินสำหรับจัดภูมิทัศน์ งานกันดินตามริมตลิ่ง หรือบริเวณเชิงเขา เพื่อป้องกันดินสไลด์ และดินถล่ม
2. Piling Wall กำแพงกันดินชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเหล็กซีทไฟล์ เหมาะกับการป้องกันดินสไลด์ตามแนวตลิ่ง และงานฐานรากชั้นใต้ดินของอาคารขนาดใหญ่
3. Cantilever Wall คล้ายกันกับ Gravity Wall แต่มีความแตกต่างกันที่ ต้องเพิ่มคานด้านล่างให้ยื่นเข้าไปในดินของฝั่งที่มีระดับสูงกว่า จึงจะสามารถรับแรงดันได้ดี และมีความมั่นคงแข็งแรงกว่า Gravity Wall
4. Anchored Wall ความพิเศษของลักษณะการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดนี้จะอยู่ที่มีการใช้สมอช่วยในการยึดกำแพง เพื่อเพิ่มแรงดันให้กับกำแพง
5. Diaphragm Wall เป็นระบบที่ใช้คอนกรีตหล่อในที่ คล้ายคลึงการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยเหมาะสำหรับกับงานฐานรากชั้นใต้ดินของอาคารขนาดใหญ่

โครงสร้างกำแพงกันดิน มีจุดประสงค์หลักสร้างขึ้นเพื่อต้านทานแรงดันด้านข้างของมวลดิน หรือการไหล เช่น โคลน และน้ำ เมื่อมีการก่อสร้างหรือสภาพธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วทำให้เกิดระดับดินหรือน้ำที่ต่างกัน เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของโครงสร้างดินถม และยิ่งเพื่อความมั่นคงให้โครงสร้างต่าง ๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้แล้วชนิดของดินที่อยู่บริเวณโดยรอบกำแพงกันดิน หรือแม้แต่ว่าความแข็งแรงของโครงสร้างที่อยู่ใต้กำแพงกันดิน ส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่แตกต่างกัน [2] - [4]

โครงสร้างกันดินหรือกำแพงกันดิน ส่วนใหญ่แล้วเป็นกำแพงกันดินโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อความมั่นคงและแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน แต่มีกำแพงกันดินอีกหลากหลายรูปแบบที่น่าสนใจ เช่น

กำแพงกันดินคอนกรีตที่ถูกเสริมแรงด้วยวัสดุอื่น ๆ [5] - [8] กำแพงกันดินแบบแห้ง (Dry Joint Retaining Walls) ที่ใช้วัสดุที่แตกต่างกัน [9] - [13] ซึ่งในอดีตการทำกำแพงกันดินแบบแห้งนิยมก่อด้วยหินแห้ง (Dry Stone Masonry) เป็นการวางหินซ้อนทับกันโดยไม่ใช้ปูน ชนิดของหินที่ใช้จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งอิฐบล็อกประสานเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาทำกำแพงกันดินแบบแห้ง เนื่องจากสามารถผลิตขึ้นในชุมชนและยังมีมาตรฐาน มพข. 602-2547 [14] เป็นตัวควบคุมคุณภาพ และสามารถทำได้ง่ายในแต่ละท้องถิ่น อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุของชุมชนในงานวิศวกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาถึงพฤติกรรมของกำแพงกันดินแบบแห้ง โดยใช้อิฐบล็อกประสาน

GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใส่วัสดุอื่นเพื่อเสริมความแข็งแรงมีวัสดุมากกว่า 2 ชนิด ประสานกัน วัสดุที่นำมาเสริมแรงให้พลาสติกคือ โยแก้ว ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มแต่เหนียว ทนความร้อนสูง โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ไม่เป็นสนิม และทนต่อการกัดกร่อน
2. ทนความร้อนได้ดีมาก สามารถทนอุณหภูมิตั้งแต่ -30 ถึง +120 ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินที่เลือกใช้
3. น้ำหนักเบา ด้วยน้ำหนักที่เบากว่าเหล็กถึง 4 เท่า ทำให้สะดวกต่อการยก ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการประกอบและติดตั้ง

4. โครงสร้างแข็งแรงให้ตัวได้
5. ไม่เน่าเปื่อยหรือผุกร่อนทนทุกสภาวะสิ่งแวดล้อมคงรูปเดิมได้ดี ไม่มีการหด
6. ผิวเรียบเนียนทำให้แรงเสียดทานต่ำ
7. เป็นฉนวนไฟฟ้าและไม่นำความร้อน

ในด้านการเสริมกำลังของกำแพงกันดิน โดยทั่วไปนิยมเสริมด้วยเหล็ก แต่ในปัจจุบันมีการค้นคว้าเพื่อเพิ่มทางเลือกในการเสริมกำลัง โดยการใช้วัสดุ GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) แทนการเสริมเหล็กที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายและเป็นระยะเวลายาวนาน เนื่องจากวัสดุ GFRP มีความสามารถในการทนทานต่อแรงกัดกร่อนของคลอไรด์ กล่าวคือ ไม่เป็นสนิม และมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเหล็กเสริม อย่างไรก็ตาม วัสดุ GFRP มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำและพฤติกรรมเปราะกว่าเหล็กเสริมธรรมดา [15] - [19] ดังนั้นจึงมีความสนใจในการศึกษาความแตกต่างของพฤติกรรมการเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวในกำแพงกันดิน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในเรื่องพฤติกรรมการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินจากอิฐประสานแบบครึ่งแผ่นมีเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียว โดยที่กำแพงขนาดความสูง 1.60 เมตร กว้าง 2.00 เมตร เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 16 เส้น โดยให้แรงที่ 10 20 และ 30 ปอนด์ ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังรูปที่ 1

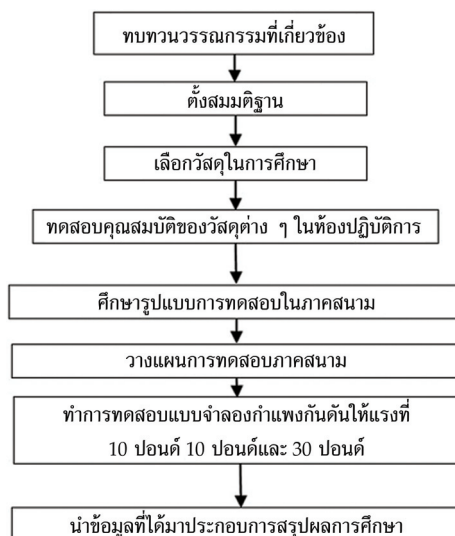
วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ มีคุณสมบัติดังนี้

1. อิฐประสาน

อิฐประสานมาตรฐาน มพข. 602-2547 มีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 12.5x25x10 เซนติเมตร น้ำหนักต่อก้อนประมาณ 5.1 กิโลกรัม กำลังต้านทานแรงอัดได้ค่า 8.05 เมกะปาสคาล ดังรูปที่ 2

2. ทราย

ทรายมาตรฐาน ASTM C136-06 [20] มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ $FM = 1.78$ มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,495 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนในการดำเนินงาน



รูปที่ 2 อิฐประสาน



รูปที่ 3 ทราय

3. วัสดุ GFRP

วัสดุ GFRP มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ทาคุณสมบัติโดยการนำมาทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง โดยผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังดึงของวัสดุ GFRP

รายการ	ตัวอย่าง			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	1.13	1.13	1.13	1.13
Yield Stress (ksc)	7,665	7,997	7,952	7,871
Ultimate Stress (ksc)	9,046	9,833	9,584	9,488
Elongation	52 %	52 %	52 %	52.7 %

4. เหล็กสตัดเกลียว

เหล็กสตัดเกลียวมาตรฐาน ASTM A193-B16. [21] มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ทนอุณหภูมิ โดยการนำมาทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง โดยผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังดึงของเหล็กสตัดเกลียว

รายการ	ตัวอย่าง			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	1.13	1.13	1.13	1.13
Yield Stress (ksc)	3,185	3,097	3,008	3,096
Ultimate Stress (ksc)	4,469	4,424	4,433	4,442
Elongation	25 %	25 %	30 %	26.6 %

ทำการทดสอบแบบจำลองกำแพงกันดินขนาดความสูง 1.60 เมตร กว้าง 2.00 เมตร ดังรูปที่ 4(ก) โดยการให้แรงเสริมกำลังเข้าไปในโครงสร้าง GFRP และเหล็กสตัดเกลียวที่ 10 20 และ 30 ปอนด์ ทำการทดสอบโดยควบคุมการทรุดตัวของทรายถมด้านหลังกำแพงและควบคุมการทรุดตัวของทรายในแนวตั้งทุก ๆ 1 มิลลิเมตร จนทรายถมทรุดตัวสูงสุดที่ 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4(ข) ระหว่างนั้นมีการวัดค่าการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดิน โดยใช้ Dial Gauge จำนวน 7 ตำแหน่ง เพื่อดูแนวโน้มพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง ดังรูปที่ 4(ค) ทำการบันทึกการเคลื่อนที่ในแนวราบกำแพงกันดินที่เสริมโครงสร้างภายในด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียว เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวในกรณีที่วัสดุเสริมแรงที่แตกต่างกัน



(ก) กำแพงก่ออิฐประสาน

รูปที่ 4 การติดตั้งตัวอย่างการทดสอบ



(ข) การติดตั้ง Dial Gauge ควบคุมการทรุดตัวของทราเยมในแนวดิ่ง

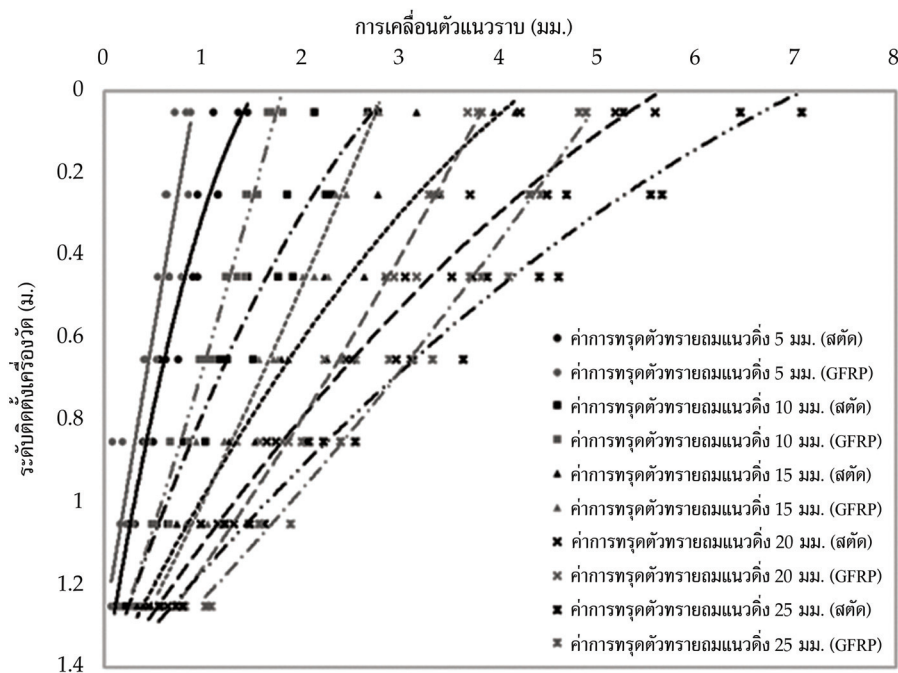


(ค) การติดตั้ง Dial Gauge ในแนวราบ 7 ตัว

รูปที่ 4 การติดตั้งตัวอย่างการทดสอบ (ต่อ)

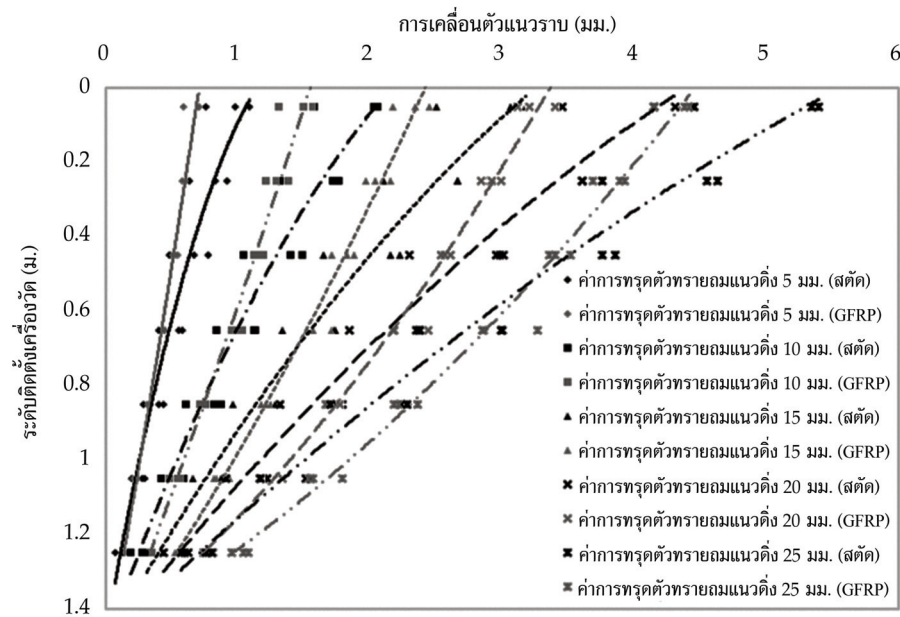
ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดสอบแบบจำลองกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียว โดยที่กำแพงมีความสูง 1.60 เมตร กว้าง 2.00 เมตร เสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 16 เส้น โดยให้แรงที่ 10 20 และ 30 ปอนด์ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 9



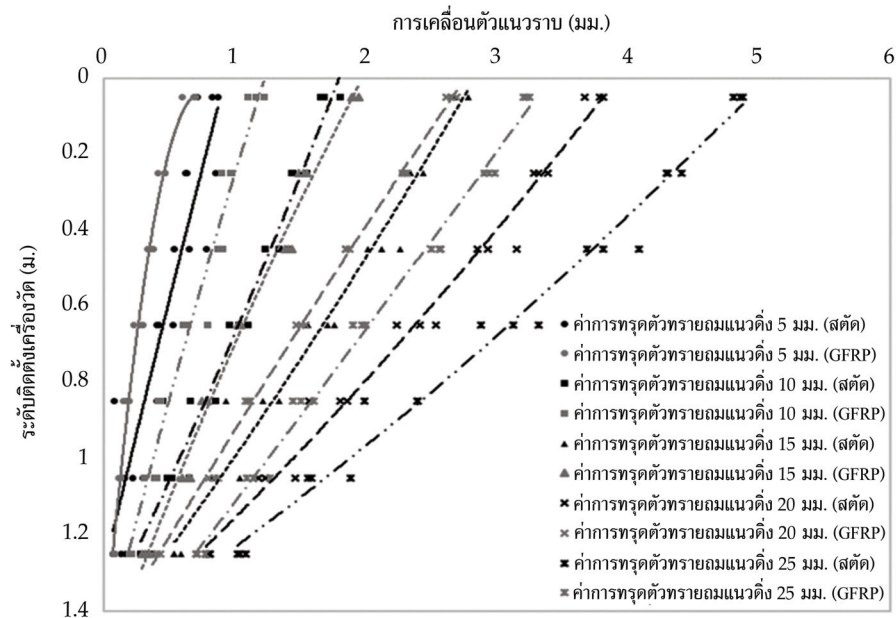
รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงที่ 10 ปอนด์

จากรูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงที่ 10 ปอนด์ การเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 4.87 มิลลิเมตร การเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียวมีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 7.05 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่ามีค่าการเคลื่อนที่ต่างกันที่ 2.18 มิลลิเมตร



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงที่ 20 ปอนด์

จากรูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงที่ 20 ปอนด์ การเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 3.82 มิลลิเมตร การเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียวมีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 5.40 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่ามีค่าการเคลื่อนที่ต่างกันที่ 1.58 มิลลิเมตร



รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงที่ 30 ปอนด์

จากรูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบของกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวให้แรงที่ 30 ปอนด์ การเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 3.25 มิลลิเมตร การเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดมีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 4.74 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่ามีการเคลื่อนที่ต่างกันที่ 1.49 มิลลิเมตร

การศึกษากำแพงกันดินที่ทำการทดสอบ เป็นลักษณะของคานยื่น โดยตัวโครงสร้างของกำแพงต้องมีระยะการโก่งตัวไม่เกิน $L/360$ [22] ซึ่งผลการคำนวณมีค่าเท่ากับ 4.44 มิลลิเมตร ซึ่งผลการศึกษาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทั้ง 3 รูปแบบที่เสริมด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 16 เส้นมีการเสริมแรงที่ 10 20 และ 30 ปอนด์ ผลการทดสอบที่ผ่านเกณฑ์และเหมาะกับการนำไปใช้งาน คือ กำแพงกันดินที่เสริมด้วยวัสดุ GFRP และเสริมแรงที่ 20 และ 30 ปอนด์ เพราะมีค่าการเคลื่อนที่ในแนวราบน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ทางด้านการพิจารณาการเลือกเสริมแรงที่ 10 20 และ 30 ปอนด์ เนื่องจากเป็นแรงอัดที่เหมาะสมสำหรับกำแพงกันดินก่ออิฐประสานครึ่งแผ่น ถ้าแรงอัดที่กระทำมีค่าสูงเกินไปจะทำให้กำแพงกันดินก่ออิฐประสานครึ่งแผ่นแตกร้าว

ข้อพิจารณาเพิ่มเติมในการเลือกใช้วัสดุ GFRP คือ มีค่ายึดหยุ่นสูงกว่าเหล็ก ซึ่งส่งผลต่อการกำลังต้านทานแรงเฉือนได้ดี เมื่อเทียบกับเหล็กเสริมทั่วไปและการเสียรูปที่ไม่ถาวรสูงสุดถึง 80 % ส่วนการเสียรูปจริงมีเพียง 20 % นั้นเกิดความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน อีกทั้งวัสดุ GFRP ยังมีความสามารถในการทนทานต่อแรงกัดกร่อนของคลอไรด์ ไม่เป็นสนิม และมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเหล็ก ดังนั้นวัสดุ GFRP จึงเป็นวัสดุทางเลือกที่น่าสนใจในโครงสร้างกำแพงกันดิน

อย่างไรก็ตาม การใช้วัสดุเสริมกำลังในกำแพงกันดินแบบจุดต่อแห้ง จะส่งผลให้กำแพงกันดินแบบจุดต่อแห้งสามารถต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวราบได้ดีกว่า การไม่เสริมกำลังในกำแพงกันดินแบบจุดต่อแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pongsagorn, P., Tanakrit, B., and Attaphol, B. [23] ที่ศึกษาถึงผลของการเสริมเหล็กเส้นเข้าไปในกำแพงกันดินแบบแห้งโดยใช้อิฐบล็อกนาโน และการเพิ่มกำลังรับแรงอัดเข้าไปในวัสดุเสริมในโครงสร้างกำแพงแบบจุดต่อแห้ง ยังส่งผลต่อพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ในแนวราบอีกด้วย

ด้านงบประมาณในการก่อสร้างวัสดุ GFRP ขนาด 12 มิลลิเมตร ราคาประมาณ 24 บาทต่อเมตร ส่วนราคาเหล็กสตัดเกลียวขนาด 12 มิลลิเมตร ราคาประมาณ 100 บาทต่อเมตร จะเห็นได้ว่าด้านความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์การใช้เลือกวัสดุ GFRP ในการเสริมแรงในกำแพงกันดินจากอิฐประสานแบบก่อครึ่งแผ่นจุดต่อแห้ง นอกจากจะมีความสามารถในการต้านทานแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบได้ดีกว่าการเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียวแล้ว ยังได้เปรียบเรื่องของความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบภาคสนามแบบจำลองกำแพงกันดินอิฐประสานเสริมกำลังด้วยวัสดุ GFRP และเหล็กสตัดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 16 เส้น ได้ผลการทดสอบดังนี้

1. แบบให้แรงที่ 10 ปอนด์ การเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 4.87 มิลลิเมตร การเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียวมีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 7.05 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบน้อยกว่าแบบเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียว 30.92 %

2. แบบให้แรงที่ 20 ปอนด์ การเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 3.82 มิลลิเมตร การเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียวมีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 5.40 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบน้อยกว่าแบบเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียว 29.26 %

3. แบบให้แรงที่ 30 ปอนด์ การเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 3.25 มิลลิเมตร การเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียวมีการเคลื่อนที่ในแนวราบสูงสุดที่ 4.74 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการเสริมแรงด้วยวัสดุ GFRP มีการเคลื่อนที่ในแนวราบน้อยกว่าแบบเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียว 31.33 %

จากผลการทดสอบทั้ง 3 รูปแบบที่ศึกษาจะเห็นได้ว่า โครงสร้างกำแพงกันดินอิฐประสานแบบจุดต่อแห้งเสริมกำลังด้วย GFRP มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบน้อยกว่าโครงสร้างกำแพงกันดินอิฐประสานแบบจุดต่อแห้งเสริมกำลังด้วยเหล็กสตัดเกลียวอยู่ที่ 30.50 %

เมื่อนำวัสดุ GFRP มาใช้ในการเสริมแรงในโครงสร้างของกำแพงกันดินจะมีค่าการเคลื่อนที่ของกำแพงกันดินในแนวราบน้อยกว่าการเสริมแรงด้วยเหล็กสตัดเกลียว อีกทั้งวัสดุ GFRP ยังมีความสามารถในการทนทานต่อแรงกัดกร่อนของคลอไรด์ ไม่เป็นสนิม และมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเหล็ก ดังนั้นวัสดุ GFRP จึงเป็นวัสดุทางเลือกที่น่าสนใจในโครงสร้างกำแพงกันดิน

ข้อเสนอแนะในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต เนื่องจากปัจจุบันมีวัสดุ FRP หลายประเภทที่ถูกใช้นำมาเป็นทางเลือกในการเสริมแรงในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ยกตัวอย่าง เช่น Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP), Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP), Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) และ Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) จึงมีความน่าสนใจที่จะนำวัสดุทางเลือกเหล่านี้มาทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงในรูปแบบต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยฉบับนี้

References

- [1] Suksan, H. (2552). **Foundation Engineering**. Krongchang Printing Co., Ltd.
- [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 (in Thai)
- [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, No. 9, pp. 2124-2132
- [10] Colas, A. S., Morel, J. C., and Garnier, D. (2010). Full-Scale Field Trials to Assess Dry-Stone Retaining Wall Stability. **Engineering Structures**. Vol. 32, Issue 5, pp. 1215-1222
- [11] Mundell, C., McCombie, P., Ms, A., Harkness, J., Walker, P., and Mieux, C. (2010). Behaviour of Drystone Retaining Structures. In **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings**. Vol. 163, Issue 1, pp. 3-12. DOI: 10.1680/stbu.2009.163.1.3
- [12] Colas, A. S. (2013). **Productivity Model Design of Dry Joint Fastening Structures**. Doctorate of Dissertation Universite Gustave Eiffel
- [13] Hanjitsuwan, S., Tho-in, T., and Phoo-ngernkham, T. (2021). Influence of NaOH Concentration and Sand to Binder Ratio on Hybrid Cement Mortar for Filled Materials in Notched Concrete Beam. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 15, No. 1, pp. 1-10 (in Thai)
- [14] MSU 602/2547. (2004). **Community Product Standard**. Thai Industrial Standards Institute
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 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 (in Thai)
- [19] Thumrongvut, J., Seangathit, S., and Kumlu, K. (2013). Tests on Structural Behaviors of Precast Partially-Prestressed Concrete Beam's Joints. **RMUTI Journal**. Vol. 6, No. 2, pp. 15-30 (in Thai)
- [20] ASTM C136-06. (2015). **Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.

- [21] ASTM A193 Grade B16. (2015). **A Grade Specification for Low Alloy Chromium-Molybdenum-Vanadium Steel**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- [22] ACI 318-19. (2019). **Building Code Requirements for Reinforced Concrete**. American Concrete Institute
- [23] Pongsagorn, P., Tanakrit, B., and Attaphol, B. (2019). Strength and Behaviors of Dry-Joint Retaining Nano-Block. **International Journal of Geomate**. Vol. 16, No. 54, pp. 42-48