

พฤติกรรมกลไกภายในระหว่างอวน HDPE กับดินทรายด้วยเครื่องทดสอบ การเฉือนตรงขนาดใหญ่

INTERACTION BEHAVIOR BETWEEN HDPE FISHNET AND SAND BY LARGE SCALE DIRECT SHEAR TEST

กฤษณะ ผังดี¹, ศุภสิทธิ พงศ์ศิวัสถิตย์² และ สุธี ปิยะพิพัฒน์³

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 39 หมู่ 1 ถนนรังสิตนครนายก อำเภอธัญบุรี

จังหวัดปทุมธานี 12110, kritsana_ph@mail.rmutt.ac.th

^{2,3}อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,

39 หมู่ 1 ถนนรังสิตนครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110,

²supasit.p@en.rmutt.ac.th, ³suthee.p@en.rmutt.ac.th

Kritsana Phungdee¹, Supasit Pongsivasathit² Suthee Piyaphipat³

¹Master student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala

University of Technology Thanyaburi, 39 Moo 1 Rangsit-Nakhornnayok Rd,

Amphoe Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand, kritsana_ph@mail.rmutt.ac.th

^{2,3}Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala

University of Technology Thanyaburi, 39 Moo 1 Rangsit-Nakhornnayok Rd,

Amphoe Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand,

²supasit.p@en.rmutt.ac.th, ³suthee.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

อวนหรือตาข่ายจับปลาที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมประมงถูกนำมาศึกษาความเป็นไปได้ เพื่อเป็นวัสดุเสริมกำลังรับแรงดึงในชั้นดิน ตัวอวนสามารถเป็นเส้นใยเพื่อใช้แทนตาข่ายเสริมกำลังดินที่สามารถประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างคันดินถม อวนตัวอย่างจำนวน 7 ชนิดถูกนำมาศึกษา โดยนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องทดสอบการเฉือนโดยตรงขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมกลไกภายในระหว่างอวนตาข่ายเสริมกำลังดินกับดินทราย ดินทรายที่ใช้ในการทดลองเป็นดินถมเป็นดินที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น ก่อนนำมาทดสอบนำดินทรายไปอบให้แห้งในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดินทรายถมนี้ถูกทำให้อยู่ภายใต้ความดันตั้งฉากที่แตกต่างคือ 0.28, 0.56 และ 1.12 ksc ซึ่งครอบคลุมอยู่ในช่วงของความดันก่อกัดทับของชั้นดินที่

เป็นไปได้ในภาคสนาม พฤติกรรมกลไภายในระหว่างอวนตาข่ายเสริมกำลังดินถูกนำตรวจสอบในเทอมของค่าสัมประสิทธิ์ปฏิสัมพันธ์ (R_{inter}) ได้ผลดังนี้ พบว่ามุมเสียดทานระหว่างอวนตาข่ายเสริมกำลังและดินทรายมีค่าเท่ากับ 26.35° และเมื่อนำมาหาค่า R_{inter} พบว่ามีค่าประมาณ 0.58 จากนั้นตรวจสอบค่า R_{inter} ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ พบว่าถ้าค่า R_{inter} อยู่ระหว่าง 0.55-0.65 ทำให้ผลทดสอบมีค่าสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ห้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นค่า R_{inter} เท่ากับ 0.58 สามารถใช้เพื่อออกแบบการเสริมกำลังในชั้นดินทรายด้วยอวนตาข่าย

คำสำคัญ: พฤติกรรมกลไภายใน, วัสดุการเสริมกำลัง, วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์, ตาข่ายจับปลา

ABSTRACT

The fishnet made by High Density Polyethylene or HDPE used widely in the fishing industry was studied the possibility for introducing as a material for tensile reinforcement of soil deposit. This fishnet can be a fiber which is sustainable into nonwoven geogrid for various geotechnical engineering applications especially the embankment construction. The 7 types of fishnet used for this study were investigated experimentally. Large scale direct shear test was carried out for investigating the interaction behaviors between fishnet geogrid and sand. Locally available silty sand was used as a backfill material in the experiments. The sand was dried by the oven for 24 hours before testing. The sand backfill materials were under different normal confining pressures of 0.28, 0.56, and 1.12 ksc which cover the range of possible applied confining pressures in the field applications. The efficiency of fishnet geogrid was find out in term of the interaction coefficient (R_{inter}). As results, the friction angle between the fishnet and sand is 26.35° . The R_{inter} value is about 0.58. Then, the R_{inter} values were investigated by the finite element method. It was found that if the R_{inter} values were about 0.55 – 0.65, the measurements were fit with the FEM results significantly. So, the R_{inter} values of 0.58 can be used to design the sand deposit reinforced by fishnet.

KEYWORDS: interaction behavior, reinforced materials, finite element method, fishnet

1. บทนำ

เทคนิคการเสริมวัสดุรับแรงดึงในชั้นดินเนื่องจากดินมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงได้น้อยเพื่อให้ชั้นดินสามารถประยุกต์ใช้งานประเภท การก่อสร้างคันดินถมที่มีความลาดชันสูงกว่าค่ามุมเสียดทานภายในของดินได้เกิดขึ้นมานานมากแล้ว [1, 2] การเสริมวัสดุเสริมแรงลงไปดังกล่าวทำให้ความลาดของดินตามธรรมชาติมีความเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น หรือช่วยให้ดินคันทางสามารถ

ตั้งได้ตั้งอยู่ได้โดยไม่มีการวิบัติ สำหรับกลไกในการถ่ายแรงเค้นระหว่างดินและวัสดุเสริมแรงให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น นอกจากวัสดุเสริมแรงต้องสามารถรับแรงดึงได้สูง ยังเกี่ยวข้องกับกลไกพื้นฐาน 2 ประการ ได้แก่ ความสามารถในการรับแรงเสียดทานและความสามารถในการรับแรงต้านทานของดิน

สำหรับวัสดุเสริมแรงที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วัสดุที่เป็นโลหะ เช่น ตะแกรงเหล็ก เหล็กแถบ หรือลวดเหล็กเหล็ยเป็นต้น [3] ส่วนอีกประเภทหนึ่งได้แก่ ตะแกรงวัสดุสังเคราะห์ (Geogrid) และแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ซึ่งวัสดุเสริมกำลังประเภทนี้มีคุณสมบัติลักษณะและพฤติกรรมที่แตกต่างกันมาก เนื่องจากวิธีการผลิตและชนิดของเส้นใยที่หลากหลาย ต่อมาแนวความคิดในการใช้วัสดุอื่น ๆ มาเป็นวัสดุเสริมแรงในชั้นดินได้ถูกนำมาศึกษากันอย่างแพร่หลาย Tanchaisawat et al. [4] ได้ศึกษาเส้นใยเสริมแรงที่ทำจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการนำเสนอใหม่ในทางธรณีเทคนิค ยกตัวอย่าง ต้นปอกระเจา ไยมะพร้าวชานอ้อย เส้นใยธรรมชาติดังกล่าวนี้สามารถใช้เป็น ตะแกรงวัสดุสังเคราะห์แบบถักทอและแผ่นใยสังเคราะห์แบบมีอายุการใช้งานจำกัด สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ Chaiyaput et.al [5] ได้ศึกษาการจำลองคันดินทรายเสริมด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ทำจากเส้นใยจากต้นปอแก้ว ด้วยวิธี Finite element โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับข้อมูลที่ได้จากภาคสนามได้ในรูปแบบของค่าการทรุดตัว แรงดันน้ำส่วนเกิน และค่าการเคลื่อนตัวของคันดินถม พบว่าผลการวิเคราะห์ของข้อมูลทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน Artidteang et.al [6] ได้ศึกษาพฤติกรรมของคันดินถมในภาคสนาม ที่ทำจากดินปนทรายเสริมด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ที่ทำจากผักตบชวา จากนั้นใช้โปรแกรม Slide 5.0 มาวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินถมนี้ พบว่าคันดินถมที่เสริมด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ที่ทำจากผักตบชวา มีค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety; F.S) มากกว่าแบบที่ไม่ได้มีการเสริมด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ สามารถใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังในคันดินถมได้ Artidteang et.al [7] ได้ศึกษาค่ากำลังที่ผิวสัมผัสของแผ่นใยสังเคราะห์แบบอายุจำกัดที่ทำจากใยปอแก้วที่ถักทอกับชั้นดินทราย ด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้แก่ การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) และการทดสอบแรงถอน (Pull out test) เพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงนั้นดำเนินการภายใต้แรงดันแตกต่างกันที่ 40, 80 และ 120 kPa

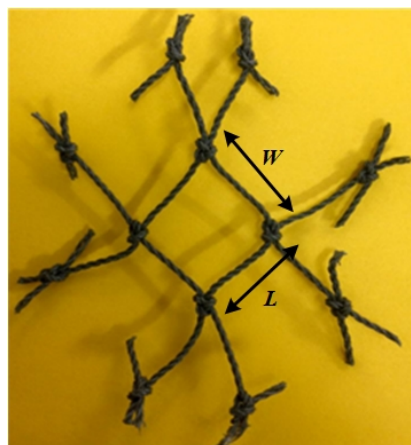
สำหรับการวิจัยนี้ได้มีแนวความคิด ในการหาวัสดุเสริมกำลังชนิดใหม่ที่มีราคาไม่แพงมาใช้ในการก่อสร้างคันดินถมที่ต้องการความสูงของชั้นดินถมมาก ได้แก่ การใช้ตาข่ายหรืออวนที่ใช้การลากปลาในอุตสาหกรรมประมง โดยปกติวัสดุประเภทนี้ มีความสามารถในการรับแรงดึงค่อนข้างสูงอยู่แล้ว เนื่องจากใช้ในการลากปลาจำนวนหลาย ๆ ตัน อวนมีลักษณะเป็นตาข่ายที่ผลิตจากเม็ดพลาสติก (High Density Polyethylene, HDPE) มาศึกษาพฤติกรรมกลไกภายใน (Interaction behavior) ระหว่างดินทรายกับตาข่ายชนิดนี้ ด้วยเครื่องทดสอบการเฉือนตรงขนาดใหญ่ (Large

scale direct shear test) จากนั้นทำการตรวจสอบพฤติกรรมกลไกภายในนี้ด้วยวิธี Finite Element เพื่อเปรียบเทียบผลข้อมูล และหาข้อสรุปต่อไป

2. การเตรียมการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ได้มีแนวคิดในการใช้ตาข่ายหรืออวน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นมาจากสารเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) HDPE เป็นโครงสร้างทางเคมีที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง มีความหนาแน่นประมาณ 0.95 g/cm^3 ในการทดสอบใช้ตัวอย่างอวนจำนวน 7 ชนิด ขึ้นอยู่กับขนาดกว้างและยาวของขนาดตาอวน และความหนาของอวน ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ W คือความกว้างของตาอวน L คือความยาวของตาอวน และ t คือความหนาของอวน จากนั้นนำตัวอย่างอวนทดสอบเพื่อหากล้ารับแรงดึงสูงสุดต่อไป



รูปที่ 1 ลักษณะของอวน

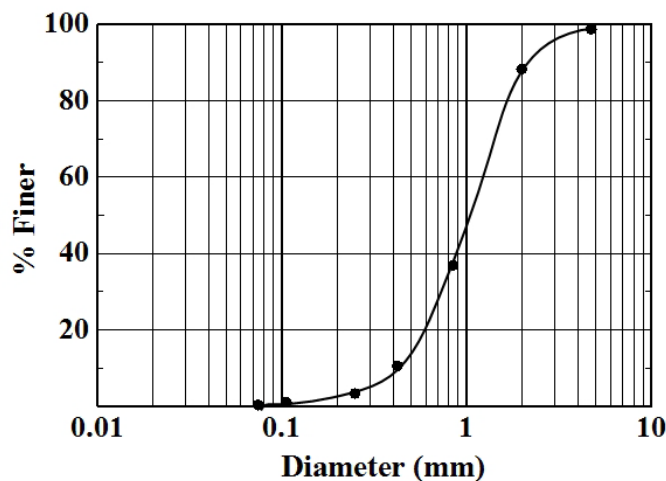
ตารางที่ 1 ลักษณะอวน

กรณี	ชนิดอวน	ขนาดตาอวน		A (cm ²)	A' (cm ²)
		W (cm)	L (cm)		
1	380/6×1"	4.40	5.00	22.00	15.40
2	380/6×1-1/4"	2.33	2.50	5.83	30.79
3	380/9×1-1/4"	4.03	4.36	17.57	18.50

ตารางที่ 1 ลักษณะอวน (ต่อ)

กรณี	ชนิดอวน	ขนาดตาอวน		A (cm ²)	A' (cm ²)
		W (cm)	L (cm)		
4	380/12×1-1/2"	3.70	3.03	11.21	23.10
5	380/15×2"	3.53	3.86	13.63	20.80
6	380/18×1-1/2"	4.00	4.46	17.84	18.50
7	380/36×1-1/2"	2.50	3.00	7.50	28.50

ในตารางที่ 1 กำหนดให้ค่า A คือพื้นที่ของขนาดตาอวน และค่า A' คือพื้นที่ตัดขวางของอวนต่อความยาว 1 เมตร โดยกำหนดให้ความหนาของอวนมีค่าประมาณ 7 มิลลิเมตร (ได้จากการทดสอบทดสอบหาความหนาที่ความดันกดทับ 2 kPa ตามมาตรฐาน ASTM D5199) ซึ่งค่า A' จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หิไฟในลึลลิเมนต์ต่อไป สำหรับดินที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ ดินทราย ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาขนาดการกระจายตัวของดินทราย ด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ได้ผลทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 และสามารถจำแนกดินทรายได้ว่าเป็นดินกลุ่ม A-3 สำหรับ AASHTO และเป็นดินกลุ่ม SP สำหรับวิธี Unified Soil Classification โดยมีความถ่วงจำเพาะ (G_s) เท่ากับ 2.59



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ Sieve Analysis

2.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่าง นำดินทรายมาอบให้แห้งในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำดินทรายแห้งมาบรรจุลงในเครื่องทดสอบกำลังรับแรงเฉือนขนาดใหญ่ (Large Scale Direct Shear Apparatus) ดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับกล่องรับแรงเฉือน (Shear Box) มีขนาดความกว้าง 50 ซม. ความยาว 50 ซม. และสูง 10 ซม. ขณะบรรจุทรายหลีกเลี่ยงการมีช่องว่างระหว่างการบรรจุโดยค่อย ๆ บรรจุดินทรายด้วยวิธีการโรย โดยควบคุมความหนาแน่นของดินทรายที่บรรจุในกล่องทดสอบด้วยน้ำหนักดินทรายคงที่ทุกกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4

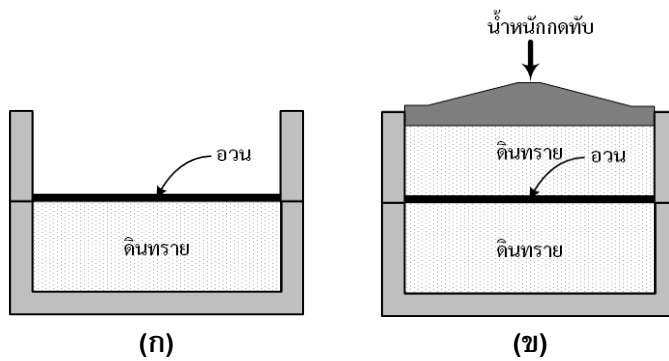


รูปที่ 3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงเฉือนขนาดใหญ่



รูปที่ 4 บรรจุทรายลงในกล่องทดสอบ

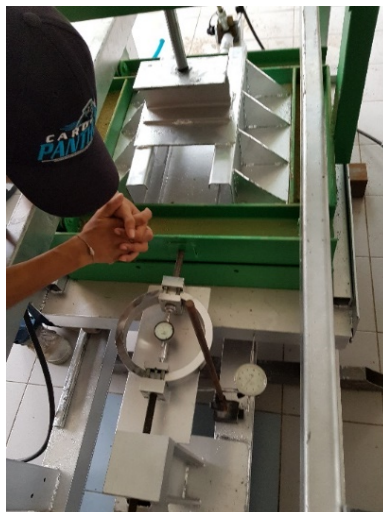
เมื่อบรรจุจนเท่ากับความหนาของกล่องรับแรงเฉือนส่วนล่าง ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) และรูปที่ 6 วางอวนทดสอบที่ด้านบนของชั้นทราย ซึ่งอยู่ที่รอยต่อของกล่องรับแรงเฉือนพอดี จากนั้นบรรจุทรายจึงถึงระดับที่ต้องการในขณะบรรจุทรายโดยควบคุมความหนาแน่นของดินทรายที่บรรจุในกล่องด้วยน้ำหนักดินทรายคงที่ พร้อมใส่อุปกรณ์การให้น้ำหนักกดทับ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) และรูปที่ 7 ระวางไม้ให้มีช่องว่างระหว่างชั้นดินทรายจนกระทั่งเต็มอุปกรณ์



รูปที่ 5 การจัดเตรียมการทดสอบ (ก) ตำแหน่งอวนทดสอบ (ข) การให้น้ำหนักกดทับ



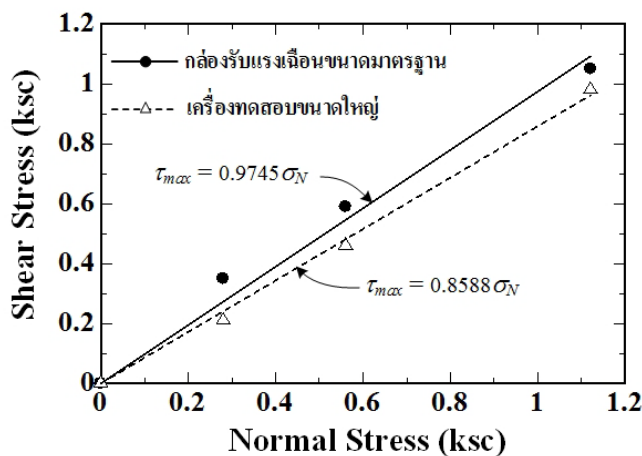
รูปที่ 6 บรรจุทรายหลังวางอวน



รูปที่ 7 ติดตั้งอุปกรณ์การให้น้ำหนัก

2.3 การสอบเทียบอุปกรณ์ทดสอบ

ทำการสอบเทียบอุปกรณ์ทดสอบด้วยผลการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนแบบเฉือนตรง (Direct Shear Test) ของดินทราย เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบด้วยอุปกรณ์การทดสอบแรงเฉือนขนาดใหญ่ สำหรับการทดสอบการเฉือนตรง ตามมาตรฐาน ASTM D3080 โดยกำหนดให้น้ำหนักกดทับที่ด้านบนตัวอย่างเท่ากับ 10 kg, 20 kg และ 40 kg ตามลำดับ กล้องรับแรงเฉือนมีพื้นที่หน้าตัดของดินตัวอย่างเท่ากับ 35.71 cm² โดยมีอัตราการเฉือนเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ดังนั้นมีหน่วยแรงตั้งฉากกระทำบนตัวอย่าง (Normal Stress, σ_N) เท่ากับ 0.28 ksc, 0.56 ksc และ 1.12 ksc ตามลำดับ เนื่องจากช่วงหน่วยแรงตั้งฉากตั้งแต่ 0.28-1.12 ksc เป็นความดันที่เป็นไปได้กระทำต่อดินเนื่องจากความหนาของชั้นดินด้านบนที่กดทับและน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งาน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่ามีมุมเสียดทานภายใน (Internal Angle of Friction, ϕ) เท่ากับ 44.27°



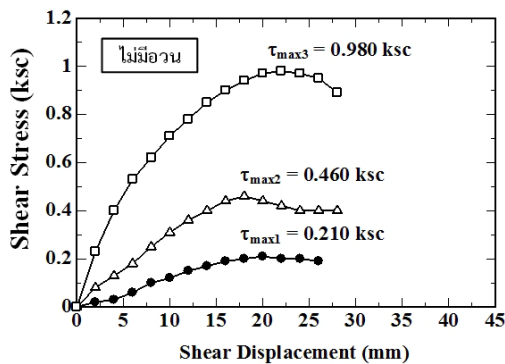
รูปที่ 8 ผลทดสอบเพื่อสอบเทียบอุปกรณ์

นำดินทรายชนิดเดียวกัน มาทำการทดสอบเพื่อหาค่ามุมเสียดทานภายใน ด้วยเครื่องทดสอบแรงเฉือนขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้หน่วยแรงตั้งฉากที่กระทำต่อตัวอย่างที่เท่ากันกับอุปกรณ์ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนขนาดมาตรฐาน กำหนดใช้น้ำหนักกดทับในแนวดิ่งเท่ากับ 700 kg, 1400 kg และ 2800 kg ตามลำดับ ทำการเฉือนด้วยอัตราการเฉือนเท่ากับ 0.5-1.0 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่ามีค่ากำลังรับเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress, τ_{max}) เท่ากับ 0.21 ksc, 0.46 ksc และ 0.98 ksc ตามลำดับ ดังแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 8 มีค่า ϕ เท่ากับ 40.66° ซึ่งมีใกล้เคียงกันโดยมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากเครื่องทดสอบกำลังรับแรงเฉือนขนาดมาตรฐานอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ

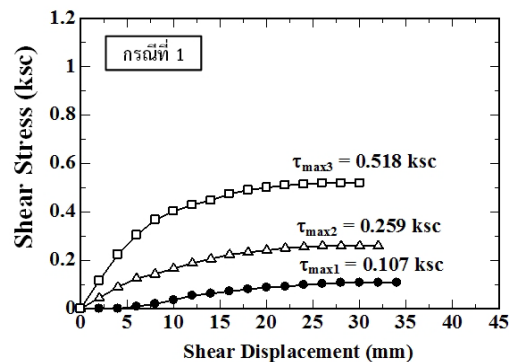
เครื่องทดสอบขนาดใหญ่มีการควบคุมอัตราการให้แรงเฉือนที่ค่อนข้างยากกว่า ทำให้อัตราการให้แรงอาจไม่คงที่เมื่อเทียบกับการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบขนาดมาตรฐาน

3. ผลการทดสอบการเฉือนระหว่างอวนกับดินทราย

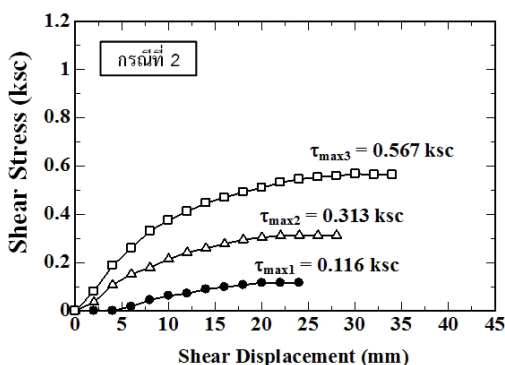
ในการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนระหว่างอวนกับดินทราย นำอวนทั้ง 7 ชนิด ตัดให้ได้ขนาดเท่ากับกล่องทดสอบตัวอย่างขนาดใหญ่คือ $50 \times 50 \text{ cm}^3$ จากนั้นนำไปบรรจุในตัวอย่างกล่องทดสอบดังที่แสดงในหัวข้อข้างต้น อวนแต่ละชนิดทำการทดสอบ 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งเพิ่มน้ำหนักกดทับแก่ตัวอย่างเป็นสองเท่า จากนั้นนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและระยะการเคลื่อนตัวของกล่องทดสอบ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9 (ก)-9 (ง) สำหรับรูปที่ 9 (ก) เป็นผลทดสอบกรณีดินทรายไม่มีการเสริมอวนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ



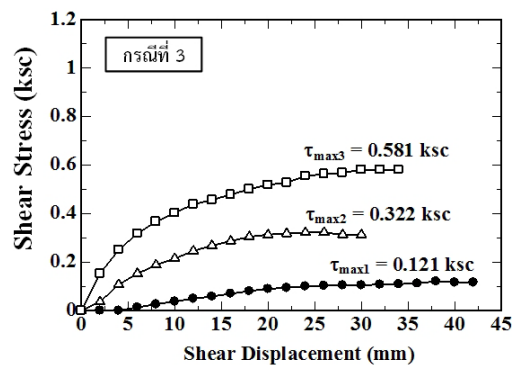
(ก)



(ข)

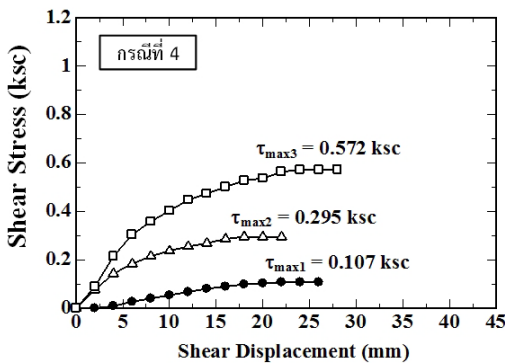


(ค)

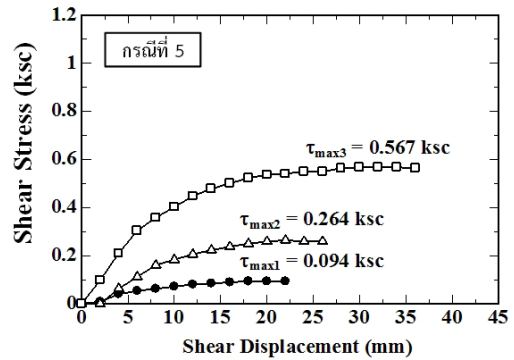


(ง)

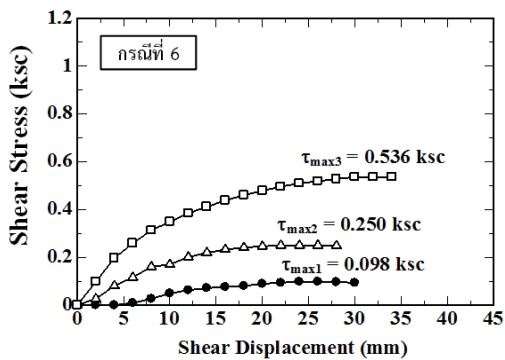
รูปที่ 9 ผลทดสอบกำลังรับแรงเฉือน



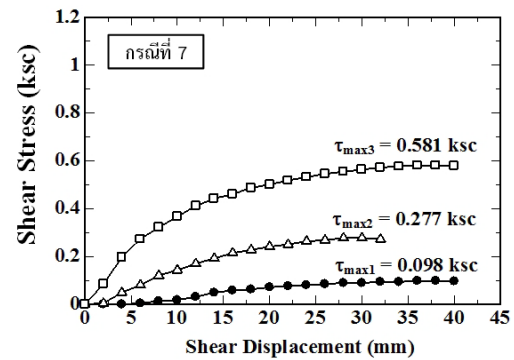
(จ)



(ฉ)



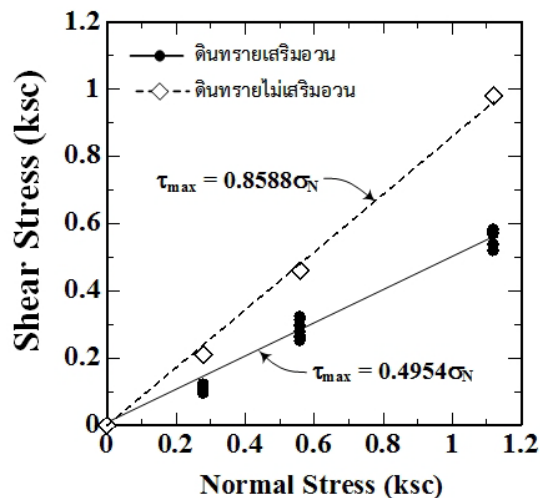
(ช)



(ซ)

รูปที่ 9 ผลทดสอบกำลังรับแรงเฉือน (ต่อ)

จากผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงเฉือนระหว่างอวนกับดินเหนียวมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวในทุกกรณีศึกษา ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้ของทั้ง 7 กรณีศึกษา พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันในทุกหน่วยแรงตั้งฉาก อาจเนื่องจากวัสดุเสริมเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และในขณะให้แรงกระทำเฉือนตัวอย่างทดสอบ เมื่อดินทรายสามารถไหลไปแนวการเคลื่อนตัวของอวนได้ง่ายกว่ากรณีการเคลื่อนตัวระหว่างเม็ดดินทรายด้วยกันเอง ถ้านำค่า τ_{max} และ σ_N ทั้ง 7 กรณีมาเขียนความสัมพันธ์ ได้ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า ค่ามุมเสียดทานระหว่างอวนกับดินทราย (Skin friction angle, δ) มีค่าน้อยกว่าค่ามุมเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดินทรายด้วยกันเอง (Internal friction angle, ϕ) โดยสามารถหาค่า δ ได้เท่ากับ 26.35° ทั้งนี้เป็นเพราะอวนมีมิติด้านความหนาต่ำ และมีผิวลื่น ทำให้การเคลื่อนไหลเกิดง่ายกว่าปกติ มุมเสียดทานภายในลดลงความสามารถรับแรงเฉือนจึงต่ำ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า τ_{max} และ σ_N

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอวนกับดินเหนียว

Bergado and Chai [8] ได้เสนอการคำนวณค่าประสิทธิภาพ (Efficiency, E_c) ของวัสดุเสริมกำลังในชั้นดิน สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_c = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (1)$$

ในกรณีศึกษาวัสดุเสริมกำลังด้วยอวนนี้ พบว่ามีค่า E_c เท่ากับ 57.67% และสำหรับค่าสัมประสิทธิ์ปฏิสัมพันธ์ (Interaction coefficient, R_{inter}) ระหว่างอวนกับชั้นดิน สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_{inter} = \frac{\sigma_N \tan \delta + c_i}{\sigma_N \tan \phi + c} \quad (2)$$

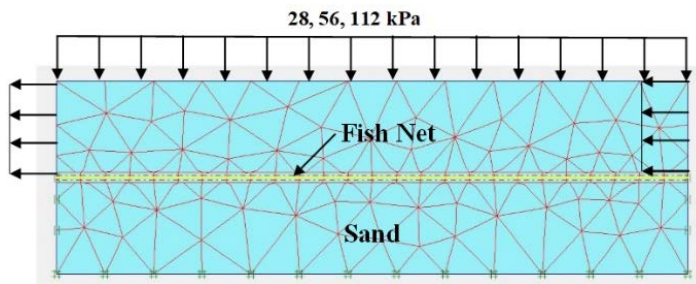
เมื่อค่า c_i คือค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอวนกับดิน (Adhesion) และ c คือค่าแรงยึดเกาะภายในระหว่างเม็ดดิน (Cohesion) ซึ่งในกรณีศึกษานี้ทั้งค่า c_i และ c มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นค่า R_{inter} จึงมีค่าเท่ากับ 0.5767 นั่นเอง

4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ FEM

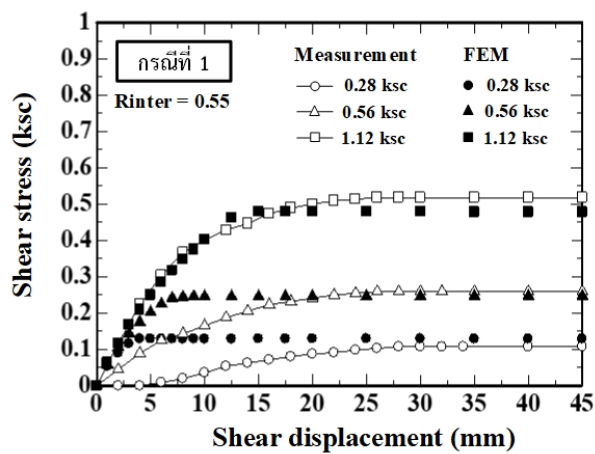
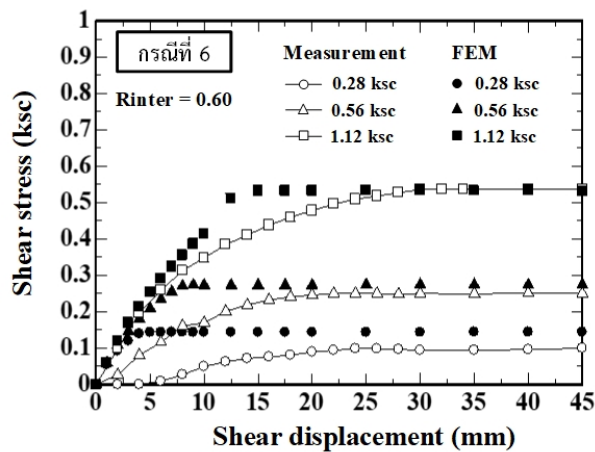
สำหรับการศึกษากลไกภายในระหว่างอวนและดินทราย ด้วยเครื่องทดสอบกำลังเฉือนขนาดใหญ่ สามารถตรวจสอบด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ใช้โปรแกรม Plaxis 2D Version 2010 โดยชั้นดินทรายถูกจำลองด้วยแบบจำลองของมอร์และคูลอมบ์ (Mohr-Coulomb Model) และอวนถูกจำลองพฤติกรรมให้เป็นแบบอีลาสติก (Elastic Model) สำหรับกล่องรับแรงเฉือน (Shear box) ถูกกำหนดให้เป็นแบบยึดแน่นทั้งแนวตั้งและแนวราบที่ด้านล่างของกล่อง ส่วนด้านข้างของกล่องถูกกำหนดให้เป็นแบบยึดแนวราบเท่านั้น สำหรับค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอวนกับดินทราย ถูกจำลองด้วยชั้นส่วนบาง ๆ (Thin layer elements) เพื่อให้สามารถหาค่า R_{inter} ระหว่างอวนกับดินเหนียวได้ สำหรับคุณสมบัติของดินและอวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 และรูปแบบของแบบจำลองการทดสอบกำลังเฉือนโดยตรงถูกแสดงในรูปที่ 11 สมมติให้ค่า Young's Modulus ของทรายเท่ากับ 15,000 kPa และ 1,000 MPa สำหรับอวน (อ้างอิงจากคุณสมบัติโดยทั่วไปของดินทรายและวัสดุจำพวก HDPE ตามลำดับ) ของในขั้นตอนการเฉือนตัวอย่างจะให้ความดันแนวตั้งที่ด้านบนแบบจำลองจำนวน 3 ครั้ง เท่ากับ 0.28, 0.56 และ 1.12 ksc ตามลำดับ ในแต่ละครั้งจะให้แรงเฉือนด้วยการเคลื่อนตัวที่ด้านข้างของแบบจำลองทั้งสองด้านในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 11 จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนในดินทรายและระยะการเคลื่อนตัวของชั้นดิน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินทรายและอวนสำหรับ FEM

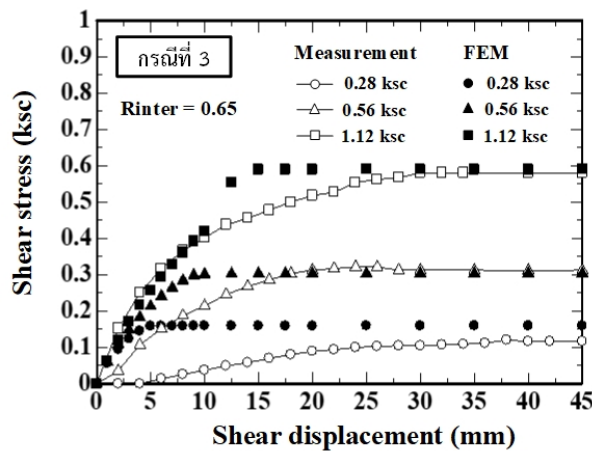
สำหรับดินทรายที่ถูกบดอัด	
ค่าหน่วยแรงตั้งฉาก (σ_N)	28, 56 และ 112 kPa
ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (γ_d)	18.1 kN/m ³
ค่าแรงยึดเหนี่ยว (c)	0 kPa
ค่าองศาความเสียดทานภายใน (ϕ)	44.3°
ค่า Young's Modulus (E_{50})	15,000 kPa
ค่า R_{inter}	0.55, 0.60 และ 0.65
สำหรับอวน	
Modulus of Elasticity (E)	1000 MPa



รูปที่ 11 แบบจำลอง

(ก) กรณี $R_{inter} = 0.55$ (ข) กรณี $R_{inter} = 0.60$

รูปที่ 12 การเปรียบเทียบผลของ FEM กับผลทดสอบ



(ค) กรณี $R_{inter} = 0.65$

รูปที่ 12 การเปรียบเทียบผลของ FEM กับผลทดสอบ (ต่อ)

จากรูปที่ 12 เห็นได้ว่า ค่าของ R_{inter} อยู่ในช่วงระหว่าง 0.55-0.65 ทำให้ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FEM มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าจะมีค่าต่างกันมากที่ค่า σ_u มีค่าต่ำ (0.28 ksc) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแรงเสียดทานของเครื่องทดสอบโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อของกล่องรับแรงเฉือน นอกจากนี้ในช่วงแรกของการเฉือนค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FEM มีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จากการทดสอบในทุกความดันตั้งฉาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการวิเคราะห์ด้วยวิธี FEM อวนไม่ได้มีการถูกทำลายจากการทดสอบเหมือนกันกับการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังเฉือนขนาดใหญ่ และไม่มีการปรับแก้ค่าเริ่มต้นของระยะการเคลื่อนตัวจากการเฉือน (Shear displacement)

5. สรุปการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนระหว่างอวนกับชั้นดินทราย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อวนเพื่อเป็นวัสดุเสริมแรง จากการศึกษาพบว่า ค่ามุมเสียดทานระหว่างอวนกับดินทรายมีค่าประมาณ 26.35° มีค่าน้อยกว่าค่ามุมเสียดทานภายในของดินทราย ($\phi = 40.66^\circ$) อย่างมีนัยสำคัญ การเสริมกำลังในชั้นดินทรายด้วยอวนพบว่า มีค่า R_{inter} เท่ากับ 0.577 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FEM พบว่าอยู่ในช่วง 0.55-0.65 สามารถใช้ค่า R_{inter} เท่ากับ 0.577 ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบการเสริมชั้นดินทรายด้วยอวน

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง การศึกษากำลังรับแรงเฉือนที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอวน HDPE กับดินทราย ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้วยทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2561 (วช.) จึงขอขอบคุณมา ณ.โอกาสนี้

References

- [1] Mallowan MEL. Early Mesopotamia and Iran. London: Thames and Hudson; 1963.
- [2] Vidal H. The principle of reinforced earth. Highway research record 1969(282);1-16.
- [3] Voottipruex P, Bergado D, Ounjaichon P. Pullout and direct shear resistance of hexagonal wire mesh enforcement in weathered Bangkok Clay. Geotechnical Engineering 2000;31(1);43-62.
- [4] Tanchaisawat T, Bergado D, Artidteang S. Measured and simulated interactions between Kenaf geogrid limited life geosynthetics (LLGs) and silty sand backfill. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris, France; 2013.
- [5] Chaiyaput S, Bergado D, Artidteang S. FEM 2D Numerical Simulations Reinforced Embankment Soft Ground by Limited Life Geosynthetics (LLGs). Proceedings of the 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics. Bangkok, Thailand; 2012.
- [6] Artidteang S, Bergado DT, Chaiyaput S, Tanchaisawat T. Embankment reinforced with limited life geotextiles on soft clay. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement 2015;168(2):130-43.
- [7] Artidteang S, Bergado D, Tanchaisawat T, Saowapakpiboon J. Investigation of tensile and soil-geotextile interface strength of kenaf woven limited life geotextiles (LLGs). Lowland Technology International 2012;14(2):1-8.
- [8] Bergado DT, Chai J. Pullout force/displacement relationship of extensible grid reinforcements. Geotextiles and Geomembranes. 1994;13(5):295-316.

ประวัติผู้เขียนบทความ



กฤษณะ ผังดี นักศึกษาปริญญาโท ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิตนครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 เบอร์โทรศัพท์ 02-549-3410 Email: kritsana_ph@mail.rmutt.ac.th



ศุภสิทธิ์ พงศ์ติวะสถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิตนครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 เบอร์โทรศัพท์ 02-549-3410 Email: supasit.p@en.rmutt.ac.th



สุธี ปิยะพิพัฒน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิตนครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 เบอร์โทรศัพท์ 02-549-3410 Email: suthee.p@en.rmutt.ac.th

Article History:

Received: March 29, 2019

Revised: June 12, 2019

Accepted: August 5, 2019