

กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังผสมแมคโครและไมโครพลาสติก
SHEAR STRENGTH OF SOIL MIXED WITH MACRO- AND MICROPLASTICS

กฤษติรินทร์	เนียมรินทร์
กลิตา	หน่อหล้า
นิรมล	สันติธรรมเจริญ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SHEAR STRENGTH OF SOIL MIXED WITH MACRO- AND MICROPLASTICS

KRITTIRIN

NIAMRIN

KALITA

NOHLA

NIRAMON

SANTITHAMJAROEN



ADVISOR

ASST.PROF.DR. VIROON KAMCHOOM

ASST.PROF.DR. LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL
ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANK

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังผสมแอมโมเนียมคลอไรด์และไมโครพลาสติก		
นักศึกษา	กฤษติรินทร์	เนียมรินทร์	60010021
	กิลิตา	หน่อหล้า	60010034
	นิรมล	สันติธรรมเจริญ	60010546
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิรุฬห์ คำชุม		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. วิรุฬห์ คำชุม	
รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญฤกษ์	
ดร.ณัฐดนัย สิ้นสมุทรผดุง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31/05/64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังผสมแอสเบสท์และไมโครพลาสติก

นาย กฤษติรินทร์ เนียมรินทร์ 60010021

นางสาว กลิตา หน่อหล้า 60010034

นางสาว นิรมล สันติธรรมเจริญ 60010546

อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2563

ผศ.ดร.วิรุฬห์ คำชุม

รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งที่เกิดขึ้นจากการทิ้งขยะในประเทศ และเกิดจากการนำเข้าขยะจากต่างประเทศ การเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินโดยใช้ซีเมนต์และไฟเบอร์มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งพลาสติกก็เป็นวัสดุเหลือใช้และสามารถนำมาใช้ประโยชน์แทนไฟเบอร์ได้เช่นกัน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของดินผสมเศษขยะพลาสติกในการเสริมกำลังรับแรงเฉือนและศึกษาหาขนาดพลาสติกที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น

โดยในการศึกษานี้ใช้เศษขยะพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทิลีน และโพลีโพรพิลีน นำมาร้อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็นสามขนาด คือขนาดใหญ่มีขนาดมากกว่า 4 มิลลิเมตร ขนาดกลางอยู่ในช่วง 2.5-4.0 มิลลิเมตรและขนาดเล็กมีขนาดน้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตร ตัวอย่างดินใช้ดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกในอัตราส่วน 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงดำเนินการเพื่อสังเกตการปรับปรุงกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ผลการทดสอบพบว่าเศษขยะพลาสติกสามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังได้และทำให้ดินลูกรังมีพฤติกรรมแบบเหนียวขึ้น (Ductile) และ ขนาดที่เหมาะสมที่สุดของดินลูกรังผสมพลาสติกที่อัตราส่วน 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง คือเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก เนื่องจากพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในดินได้ดีกว่า มีการกระจายตัว เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างพลาสติกกับดินในขณะที่พลาสติกขนาดใหญ่กระจายตัวได้ไม่มากมีโอกาสที่จะไปเจอพลาสติกกับพลาสติกด้วยกันเองทำให้เกิดการเลื่อนไถล ส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของพลาสติกขนาดใหญ่มีค่าน้อยกว่าพลาสติกขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SHEAR STRENGTH OF SOIL MIXED WITH MACRO- AND MICROPLASTICS

Mr.Krittirin	Niamrin	60010021
Kalita	Nohla	60010034
Ms.Niramom	Santithamjaroen	60010546

Adivor: Asst.Prof.Dr. Viroon Kamchoom

Asst.Prof.Dr.Laemthong Laokhongthavorn

Abstract

Currently, Thailand has a rapid increase in the amount of plastic waste. Both arising from littering in the country and caused by importing garbage from abroad Increasing soil load capacity using cement and fiber is widely studied. Plastic is a waste material and can be used as a substitute for fiber as well. This study aimed to study the efficiency of plastic soil mixed with shear strength and to determine the optimum plastic size that increased shear strength.

In this study, plastic waste made of polyethylene and polypropylene was used. The large size is more than 4 mm, the medium size is 2.5-4.0 mm, and the small size is less than 2.5 mm. Direct shear tests are carried out to observe improvements in shear strength of soil samples that are saturated with water. Tests showed that plastic waste can increase the shear strength of the nest soil and make the soil behave more cohesively. Ductile and the optimal size of plastic mixed clay at a ratio of 1%. There is fragmentation. There is a strong bond between plastic and soil, while large plastics do not disperse much, there is no chance of them forming plastics and plastics together, resulting in skidding. As a result, the shear strength of large plastics is less than that of small plastics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ คำชุม และ รองศาสตราจารย์ ดร. แผลมทอง คงถาวร ที่ให้ความเมตตาชี้แนะ และให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้ง ความเอาใจใส่ และความเป็นกันเองของอาจารย์ ทำให้พวกเรารู้สึกมีความกล้าที่จะถามในทุกอย่าง รวมทั้งการที่อาจารย์ติดต่อภาควิชาและทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้นักศึกษาสามารถปฏิบัติงานได้ลุล่วงแม้ในสถานการณ์โควิด-19 ตลอดจนความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเรารู้สึกซาบซึ้งใจในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน สำหรับการทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ โดยคณาจารย์ทุกท่าน ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำปริญญานิพนธ์ แม้จะมีความลำบากเนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 รวมถึงตลอดเวลาที่ได้เรียนรู้และศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นผู้ให้กำลังใจ ความรัก คอยสนับสนุนการเป็นอยู่ และคอยสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ คณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งใจให้พระคุณของท่านอย่างสูง

นาย กฤษติรินทร์ เนียมรินทร์
นางสาว กลิตา หน่อหล้า
นางสาว นิรมล สันติธรรมเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังผสมแมคโครและไมโครพลาสติก.....	1
SHEAR STRENGTH OF SOIL MIXED WITH MACRO- AND MICROPLASTICS.....	1
SHEAR STRENGTH OF SOIL MIXED WITH MACRO- AND MICROPLASTICS.....	2
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
บทที่ 1.....	6
บทนำ.....	6
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	6
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	6
1.4 วิธีการศึกษา.....	7
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2.....	8
วรรณกรรมปริทัศน์.....	8
2.1 คุณสมบัติทั่วไปของดิน.....	8
2.2 กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน.....	8
2.3 คุณสมบัติทั่วไปของพลาสติก.....	9
2.4 ทบทวนวรรณกรรม.....	10
บทที่ 3.....	14
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	14
3.1 การหาขนาดของพลาสติก.....	14
3.2 คุณสมบัติทั่วไปของดิน.....	15
3.2.1 การหาขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Analysis).....	15
3.2.2 การทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil).....	19
3.2.3 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction).....	21
3.3 คุณสมบัติเชิงกลของดินผสมขยะพลาสติก.....	23
บทที่ 4.....	28

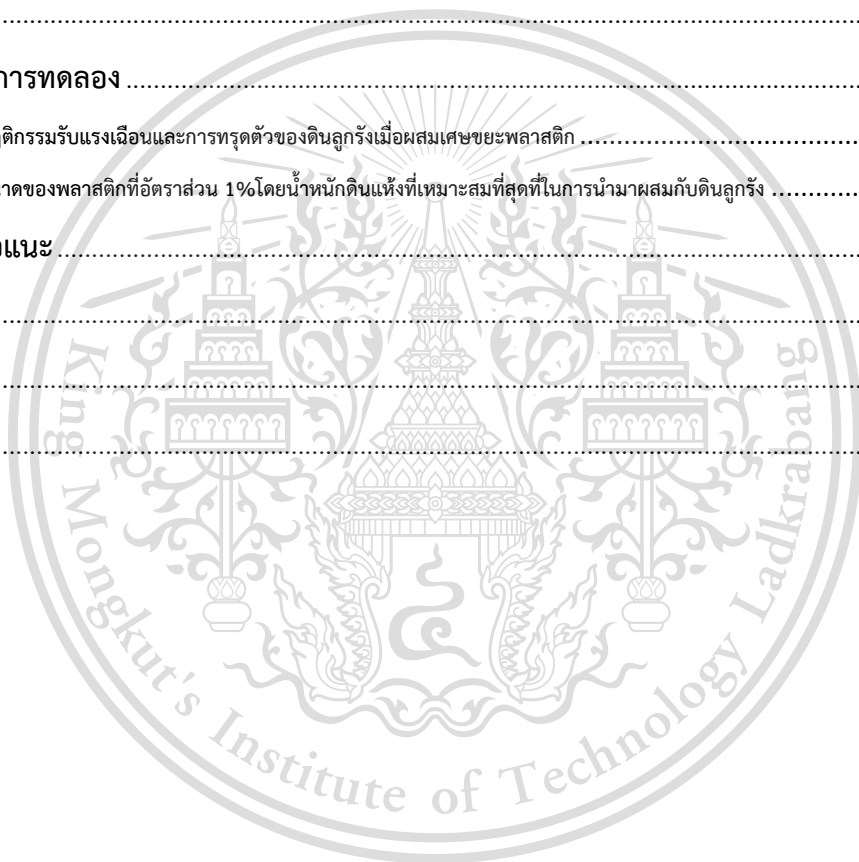
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการศึกษา	28
4.1 ผลจากการทดสอบการบดอัดดินของดินผสมเศษขยะพลาสติก	28
4.2.1 ผลจากการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนของดินลูกรังไม่ผสมเศษขยะพลาสติก	29
4.2.2 ผลจากการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้	31
4.2.3 ผลจากการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้	34
4.2.4 ผลจากการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดใหญ่ ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้	36
บทที่ 5.....	40
สรุปผลการศึกษา.....	40
5.1 บทนำ.....	40
5.2 สรุปผลการทดลอง	40
5.2.1 พฤติกรรมรับแรงเฉือนและการทรุดตัวของดินลูกรังเมื่อผสมเศษขยะพลาสติก	40
5.2.2 ขนาดของพลาสติกที่อัตราส่วน 1%โดยน้ำหนักดินแห้งที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาผสมกับดินลูกรัง	40
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก ก.....	45
ภาคผนวก ข	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ 2.2-1.....	8
รูปที่ 2.2-2	9
รูปที่ 2.4.1-1 รูปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และผงยิปซัมตามลำดับ.....	10
รูปที่ 2.4.2-2 การแสดงอัตราส่วนพลาสติกที่ดีที่สุด.....	11
รูปที่ 3.1-1 แสดงพลาสติกค้ำบนตะแกรง.....	14
รูปที่ 3.1-2 รูปแสดงขนาดคละพลาสติก	15
รูปที่ 3.1-3 แสดงขนาดพลาสติก	15
รูปที่ 3.2-1 แสดงการชั่งน้ำหนักตะแกรง.....	16
รูปที่ 3.2-2 แสดงการนำตะแกรงเข้าเครื่องเขย่า	16
รูปที่ 3.2-3 แสดงการชั่งน้ำหนักดินที่ค้ำบนตะแกรง	17
รูปที่ 3.2-3 รูปแสดงขนาดคละของเม็ดดิน.....	18
รูปที่ 3.2-4 รูปแสดงการแบ่งเกรดของดินลูกรัง.....	18
รูปที่ 3.2-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับน้ำหนักรวมระหว่างขวดแก้วกับน้ำ (g).....	20
รูปที่ 3.2-10 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (g/cm^3) กับปริมาณความชื้น (%).....	22
รูปที่ 3.2-6 รูป แสดงกราฟคอมแพคชันของดินเปล่าและดินผสมพลาสติก	22
รูปที่ 3.3-1 Calibrate Proving ring.....	24
รูปที่ 3.3-2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	25
รูปที่ 3.3-3 บดอัดดินลง shear box	25
รูปที่ 3.3-4 แผ่นหินพรุน และ Loading pad	25
รูปที่ 3.3-5 แซ่ตัวอย่างในน้ำและรอให้หยุดทรุดตัว	26
รูปที่ 4.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (g/cm^3) กับปริมาณความชื้น (%).....	28
รูปที่ 4.2.1-1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress(KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก.....	29
.....	29
รูปที่ 4.2.1-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normal displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก	29
รูปที่ 4.2.1-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress กับ Maximum shear stress ของดินไม่ผสมพลาสติก 30	
รูปที่ 4.2.2-1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง	31
รูปที่ 4.2.2-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normal displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง	31
รูปที่ 4.2.2-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง	32
รูปที่ 4.2.2-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress กับ Maximum shear stress ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1 %.....	32
รูปที่ 4.2.2-4กราฟเปรียบเทียบ shear stress (KPa) ระหว่างดินลูกรังไม่ผสมพลาสติกและดินลูกรังที่ผสมพลาสติกขนาดเล็ก.....	33
รูปที่ 4.2.3-1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง	34

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.2.3-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vertical displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง.....	34
.....	35
รูปที่ 4.2.3-3 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะ พลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง.....	35
รูปที่ 4.2.3-4 กราฟเปรียบเทียบ shear stress (KPa) ระหว่างดินลูกรังไม่ผสมพลาสติกและดินลูกรังที่ผสมพลาสติกขนาด กลาง	36
รูปที่ 4.2.4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดิน ลูกรังผสมพลาสติกขนาดใหญ่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง	37
รูปที่ 4.12 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะ พลาสติกขนาดใหญ่ ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง.....	38
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินผสมพลาสติกขนาดต่างๆที่ความลึก 1 เมตร.....	41
รูปที่ 5.2 รูปกราฟคาดคะเนกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกที่1% โดยน้ำหนักดินแห้ง	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.4.3-1 แสดงปริมาณเส้นใยและซีเมนต์ในดิน	11
ตารางที่ 2.4.4-1 ตารางค่าตัวแปรที่ใช้งาน	13
ตารางที่ 3.2-1 ตารางแสดงข้อมูลขนาดผลของเม็ดดิน	17
ตารางที่ 3.2-2 ข้อมูล Calibration of Pycnometer	20
ตารางที่ 3.2-3 ข้อมูลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน	21
ตารางที่ 3.2-4 ข้อมูลการทดสอบการบดอัดดิน	22
ตารางที่ 4.2.1-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก	30
.....	30
ตารางที่ 4.2.3-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง.....	35
ตารางที่ 4.2.4-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดใหญ่ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง	38
ตารางที่ 5.1 แสดงค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle)	41
ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Seq,p (Kpa)	42
ตารางที่ ก-1 ดินลูกรังธรรมดาไม่ผสมพลาสติก	46
ตารางที่ ก-2 ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง	50
ตารางที่ ก- 3 ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดกลาง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง	56
ตารางที่ ก- 4 ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดใหญ่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง	62
ตารางที่ ข-1 ตารางคาดคะเนกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมพลาสติก.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลาสติกถือเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติเบา แข็งแรง ทนทาน และราคาถูกด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นทำให้พลาสติกได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณมากขึ้น ซึ่งขยะพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยตัวเอง และหากไม่นำไปจัดการอย่างถูกวิธีอาจก่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมาไม่ว่าจะเป็นปัญหาสุขภาพ ปัญหาเศรษฐกิจ และปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ส่งผลต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมในการกำจัดขยะพลาสติกอย่างหลากหลายรวมไปถึงการนำมาประยุกต์ใช้ในทางด้านวิศวกรรม

ดังนั้นทางกลุ่มของนักศึกษาจึงต้องการศึกษาโครงการวิจัยเกี่ยวกับกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังผสมแอมโครและไมโครพลาสติก ซึ่งใช้ขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene-PE) และโพลีโพรพิลีน (Polypropylene-PP) ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน เป็นการนำเอาขยะเหลือทิ้งที่ไม่ใช้แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์และประหยัดค่าใช้จ่ายขึ้นกว่าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.1.1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินลูกรังที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมเศษขยะพลาสติก
- 1.1.2. เพื่อหาขนาดของเศษขยะพลาสติกที่เหมาะสมที่ทำให้ดินลูกรังสามารถรับแรงเฉือนได้สูงสุด

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ดินลูกรังจาก จ.ฉะเชิงเทรา
 - มีขนาดคละผ่านตะแกรงเบอร์ 4
 - Maximum Dry Density 80% of Compaction
- 1.3.2 ขยะพลาสติกรีไซเคิล จาก Dow Chemical Thailand Ltd.
- 1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของดิน
 - Grain Size Analysis; ASTM D 422
 - Compaction Test (Standard Proctor Test)
 - Specific Gravity of soil; ASTM D 854

1.3.4 ศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของดินผสมพลาสติก

- Compaction Test; ASTM D 698, ASTM D 1557-70 เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างดินลูกรังผสมพลาสติกพลาสติก 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักดินแห้ง ใช้ขนาดที่ต่างตะแกรงเบอร์ 4, 10 และเบอร์ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3.5 ศึกษากำลังรับแรงเฉือนของดินผสมพลาสติก

- Direct Shear Test; ASTM D 3080 เพื่อศึกษาและทดสอบการรับแรงเฉือนในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างดินลูกรังผสมพลาสติก 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักดินแห้ง ใช้ขนาดที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4, 10 และเบอร์ 20

1.4 วิธีการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้พลาสติกและการใช้ซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพดิน
- 1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์
- 1.4.3 ทำการกำหนดขนาดพลาสติกที่จะใช้
- 1.4.4 ทำการทดลองหาคุณสมบัติของดินที่ใช้ทดสอบ
- 1.4.5 ทำการทดลองหาคุณสมบัติของดินที่ใช้ทดสอบผสมกับพลาสติกขนาดต่างๆ
- 1.4.6 ทดสอบหากลำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ
- 1.4.7 เปลี่ยนขนาดพลาสติกตามที่กำหนดไว้
- 1.4.8 ทำการทดสอบดินผสมพลาสติกขนาดต่างๆ
- 1.4.9 วิเคราะห์ สรุปผล และหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถทราบขนาดเศษขยะพลาสติกที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาผสมกับดินลูกรัง
- 1.5.2 สามารถทราบประสิทธิภาพของดินผสมไมโครและมาโครพลาสติก
- 1.5.3 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังของดินได้มากขึ้น
- 1.5.4 เพิ่มช่องทางในการกำจัดขยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 คุณสมบัติทั่วไปของดิน

ในการทดลองดินที่นำมาใช้เป็นดินลูกรัง ซึ่งเป็นดินที่พบในชั้นลูกรัง ชั้นกรวด ชั้นเศษหินหรือชั้นหินพื้น โดยพบกรวด หินมนขนาดเล็ก หรือเศษหินมาปะปน มากกว่า 35% ของเนื้อดิน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลแดงเข้มหรืออ่อนขึ้นกับปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของออกไซด์เหล็ก อลูมิเนียม ไททาเนียม และแมกนีเซียม ดินลูกรังจึงสามารถใช้เป็นวัสดุรองพื้นทางไหล่ทาง พื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงปานกลาง และสามารถใช้เป็นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยางได้ เพราะเม็ดลูกรังจะไม่แตกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นในอากาศ

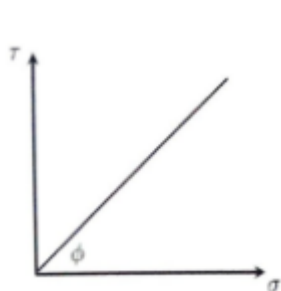
2.2 กำลังต้านแรงเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Soil shear Strength) คือ ความสามารถสูงสุดของมวลดินในการรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของมวลดินนั้น (Soil mass) ก่อนจะเกิดการพิบัติ ซึ่งการวิบัติของดินส่วนใหญ่เกิดมาจากแรงเฉือน โดยค่าความสามารถของดินในการต้านทานต่อแรงเฉือนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ ดังนี้

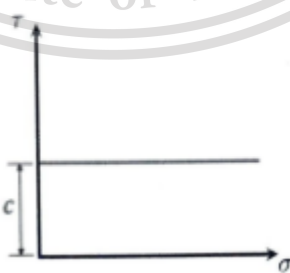
1. แรงยึดเหนี่ยวหรือความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน (Cohesion, C)
2. แรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดิน (Internal Friction angle)

-สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เช่น กรวด ทราย ค่ากำลังต้านต่อแรงเฉือนของดิน ขึ้นอยู่กับแรงเฉือนภายในเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่

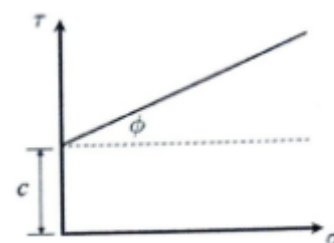
-สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่



ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ($c=0$)



ดินที่ไม่มีมุมเสียดทาน ($\phi=0$)



ดินที่มีทั้งสองอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 2.2-1 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

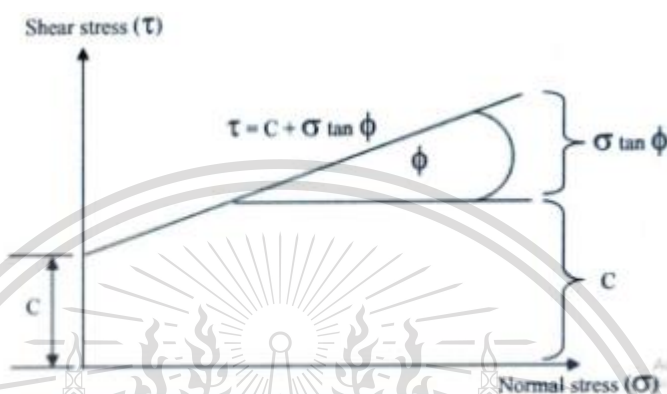
ในทางปฐพีกลศาสตร์ถือว่าค่ากำลังของดิน คือ ความสามารถของมวลดินในการรับแรงเฉือน (shear strength) ซึ่งต่างจากคอนกรีตและเหล็กที่พิจารณาแรงอัดและแรงดึง ซึ่งค่ากำลังรับแรงเฉือนของมวลดิน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(Soil Shear Strength) นี้เป็นข้อมูลจำเป็นในการวิเคราะห์หรือออกแบบ ฐานราก ผนังกันดิน เสาค้ำ และ สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับดินและหิน

ทฤษฎีการวิบัติของวัสดุของ Mohr และ Coulomb ได้คิดความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงตั้งฉากและ หน่วยแรงเฉือนบนระนาบวิบัติ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป ในการประมาณค่าหน่วยแรงเฉือนบนระนาบวิบัติ สามารถใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นตรงของหน่วยแรงหลักการหาค่าแทนได้ เรียกว่า สมการโมร์-คูลอมป์ (Mohr – Coulomb's Equation) ซึ่งใช้หาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน ณ จุดพิบัติดังสมการ $\tau = c + \sigma \tan \phi$



รูปที่ 2.2-2

โดยที่ τ = หน่วยแรงเฉือนบนระนาบวิบัติ

σ = หน่วยแรงตั้งฉากบนระนาบวิบัติ

c = ค่าความเชื่อมั่นแน่นของดิน

ϕ = ค่ามุมเสียดทานภายในของดิน

2.3 คุณสมบัติทั่วไปของพลาสติก

พลาสติกที่ใช้ในการทดสอบมาจากโรงงานอุตสาหกรรม มีด้วยกัน 2 ชนิด ดังนี้

2.3.1 Polyethylene Fiber (PE)

เป็นเทอร์โมพลาสติก มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีความเหนียว ทนทานต่อแรงดึงปานกลาง ป้องกันความชื้นไม่ให้ผ่านเข้าออกได้แต่ให้อากาศและก๊าซต่างๆซึมผ่านได้ ทนกรดและด่างอ่อนมีน้ำหนักเบา มีความยืดตัวได้สูง พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมากแต่จะขุ่นเมื่อความหนาแน่นสูง ปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จะเริ่มละลาย PE ได้ถูกจำแนกเป็นหลายชนิด ตัวหลักๆ ที่ใช้กันมากคือ LDPE , LLDPE , MDPE , HDPE การใช้งานของ PE กว้างขวางมาก ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ เช่น ขวด, แผงบรรจุยา, และสายน้ำเกลือ, ชิ้นส่วนรถยนต์, เชือก, แห ,อวน, ถุงพลาสติก, ท่อและรางน้ำ, เครื่องใช้ในครัวเรือน, ของเด็กเล่น, ฉนวนหุ้มสายไฟ, สายเคเบิล, ดอกไม้พลาสติก, เคลือบหลังพรม, ฝ้าใบพลาสติก, แผ่นฟิล์มสำหรับการบรรจุหีบห่อ , แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 Polypropylene Fiber (PP)

เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุด มีคุณสมบัติคล้ายโพลีเอทิลีน ยอมให้แสงผ่านได้ดี สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า PE ถึง 150 °C มีความเหนียวและทนทานกว่า

มีจุดหลอมตัวที่ 165 °C ใอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก มีการนำเอา PP ไปใช้งานในลักษณะเดียวกับ PE เมื่อต้องการให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น PP ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ใช้ทำถุงร้อน ฟิล์มใส ฟิล์มห่อหุ้ม หรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน พลาสติกหุ้มของบุหรี เชือกแห อวน ถังน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

2.4 ทบทวนวรรณกรรม

2.4.1 A particulate-scale investigation of cemented sand behavior

by Y.-H. Wang and S.-C. Leung

Y.-H. Wang and S.-C. Leung ได้ศึกษาการเพิ่มกำลังรับน้ำหนัก การขยายปริมาตร และ mode of failure ระหว่าง Portland cement sand และ Gypsum cement sand โดยนำทราย Ottawa มาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ ผงยิปซัมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปทดสอบ Drained Triaxial Compression Test จากการทดลองพบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-strain และ Void ratio ของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับยิปซัมซีเมนต์แต่การบีบอัดจะพบแถบรอยเลื่อนขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ยิปซัมซีเมนต์ไม่ปรากฏแถบรอยเลื่อนขึ้น



รูปที่ 2.4.1-1 รูปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และผงยิปซัมตามลำดับ

2.4.2 Shear Strength Improvement of Lateritic Soil Mixed With Waste Plastic

Flakes

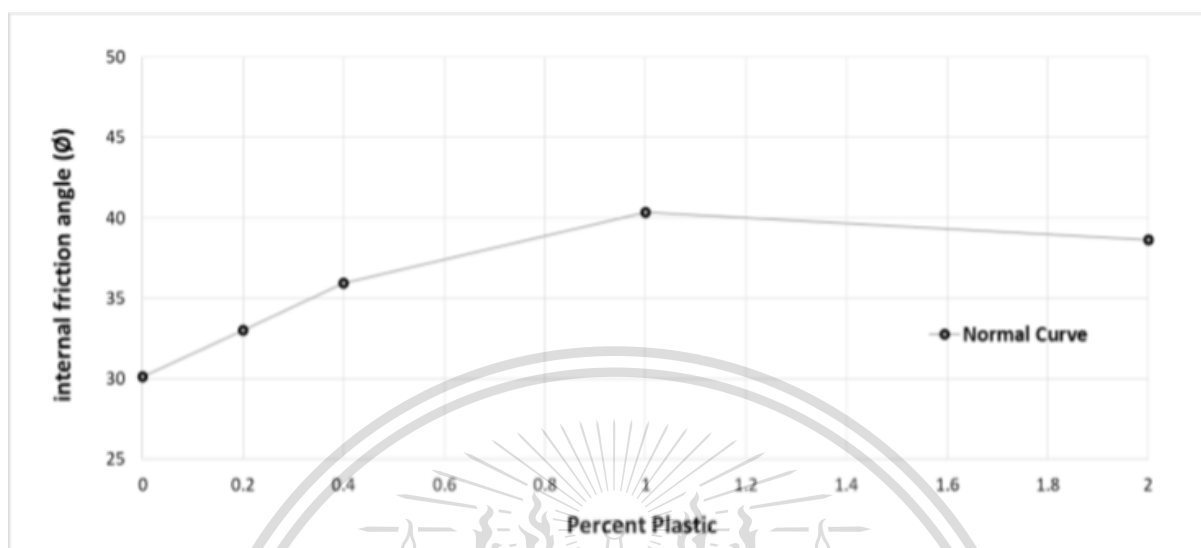
เป็นการศึกษาพฤติกรรมรับแรงเฉือนของดินลูกรังที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเศษขยะพลาสติก และเพื่อหาสัดส่วนพลาสติกที่เหมาะสม

เอกสารโดยผสมดินลูกรังกับเศษขยะพลาสติกประเภท PE และ PP โดยเปอร์เซ็นต์พลาสติกที่ผสมกับดิน ได้แก่ 0% 0.2% 1% และ 2% โดยน้ำหนักดินแห้ง และทำการเฉือนด้วย Direct Shear Test ;ASTM D 3080

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จากการทดลองได้ สัดส่วนที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นได้ดีที่สุดและมีค่ามุมเสียดทานภายในสูงสุดคือ 1% โดยน้ำหนักดินแห้งและต้องทดสอบในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ



รูปที่ 2.4.2-2 การแสดงอัตราส่วนพลาสติกที่ดีที่สุด

2.4.3 Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. By Chaosheng Tang, Bin Shi*, Wei Gao, Fengjun Chen, Yi Cai

พวกเขาได้ทำการทดสอบทดสอบความแข็งแรงและพฤติกรรมเชิงกลของการกระจายตัวเส้นใยเสริมแรง PP แบบสั้น (ยาว 12 มม.) ในดินและดินผสมซีเมนต์ ด้วยการทดสอบ unconfined compressi และ direct shear test ในตัวอย่างดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยและซีเมนต์ต่างกันไป โดยใช้กล้อง SEM ส่องดูโครงสร้างและพฤติกรรมของผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยและทดสอบดินเพื่อศึกษากลไกของดินเสริมเส้นใย

Soil no.	Cement content (%)	Fiber content (%)
S	0	0
F1	0	0.05
F2	0	0.15
F3	0	0.25
C1	5	0
C2	8	0
CF1	5	0.05
CF2	5	0.15
CF3	5	0.25
CF4	8	0.05
CF5	8	0.15
CF6	8	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 2.4.3-1 แสดงปริมาณเส้นใยและซีเมนต์ในดิน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการทดลองพบว่าการเสริมเส้นใยและซีเมนต์ในดินมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาพารามิเตอร์ความต้านทานแรงเฉือน C และ ϕ ทำให้การยึดเหนี่ยวและมุมเสียดทานภายในของตัวอย่างดินผสมซีเมนต์และเส้นใยเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ค่า Unconfined compressive strength, Shear strength และค่า axial strain ที่การวิบัติเพิ่มขึ้นและค่า Stiffness ลดลง และการสูญเสียกำลังลงหลังจุดสูงสุด ทำให้เปลี่ยนพฤติกรรมการเปราะของดินซีเมนต์เป็นดินเหนียวมากขึ้น ขณะเดียวกันถ้าให้ปริมาณเส้นใยคงที่การเพิ่มปริมาณซีเมนต์ก็ทำช่วยเพิ่มพารามิเตอร์ความต้านทานแรงเฉือนได้อย่างมาก ซึ่งทำให้ค่า Unconfined compressive strength, Shear strength และค่า axial strain ที่การวิบัติเพิ่มขึ้นและค่า Stiffness ลดลง และการสูญเสียกำลังลงหลังจุดสูงสุด ทำให้เปลี่ยนพฤติกรรมการเปราะของดินซีเมนต์เป็นดินเหนียวมากขึ้น

2.4.4 Mobilization of reinforcement forces in Fiber-Reinforce soil by Chunling Li, and Jorge G. Zonberg, M.ASCE (2013)

เป็นการทำนายค่ากำลังต้านแรงเฉือนที่ผสมด้วย 2 ส่วนประกอบคือ ดิน และเส้นใย โดยสมการที่มีตัวแปรที่ส่งผลคือ แรงเฉือนของดิน แรงที่ตั้งเกิดจากเส้นใย โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Triaxial compression tests และการทดสอบการดึงเส้นใย โดย ได้สมการมาดังนี้

$$S_{eq,p} = C_{eq,p} + (\tan \phi_{eq,p}) * \sigma_n$$

$$C_{eq,p} = (1 + \alpha * \eta * \chi * c_{i,c}) * c$$

$$(\tan \phi_{eq,p}) = (1 + \alpha * \eta * \chi * c_{i,\phi}) \tan \phi$$

เมื่อนำมารวมกันได้สมการดังนี้

$$S_{eq,p} = (1 + \alpha * \eta * \chi * c_{i,c}) * c + (1 + \alpha * \eta * \chi * c_{i,\phi}) \tan \phi * \sigma_n$$

โดย $S_{eq,p}$ = กำลังรับแรงเฉือน

α = ค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยเชิงประจักษ์ ที่ใช้อธิบายการวางตัวของเส้นใย

$$\eta = \frac{\text{ความยาวของเส้นใย}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นใย}}$$

$$\chi = \frac{\text{น้ำหนักของเส้นใย}}{\text{น้ำหนักของดินแห้ง}}$$

$$c_{i,c} = \text{ค่าองค์ประกอบความเชื่อมั่น} = \frac{\text{ค่าความเชื่อมั่นของเส้นใย}}{\text{ค่าความเชื่อมั่นของดิน}}$$

$$c_{i,\phi} = \text{ค่าองค์ประกอบเสียดทานเสียดทาน} = \frac{\tan \text{ มุมเสียดทานเส้นใย}}{\tan \text{ มุมเสียดทานดิน}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในการทดสอบ Triaxial พวกเขาใช้ 2 ตัวอย่าง ที่มีตัวแปรดังนี้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Series	Type of test	Relative density D(%)	Liner density(denier)	Length Lf (mm)	Fiber content %
1	Triaixal compression CD	55	300 และ 1000	25 และ 50	0.2,0.4
2	Triaixal compression dry specimen,CD	48 และ 65	3620	50	0.1-0.4

ตารางที่ 2.4.4-1 ตารางค่าตัวแปรที่ใช้งาน

โดยที่ ที่ใช้ในตัวอย่างที่ 1 คือดินประเภท คุณภาพต่ำ(SP) ที่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ที่ 1.4% มีค่า C 6.1 Kpa และมุมเสียดทานภายใน 34.3 องศา ตัวอย่างที่ 2 เป็นดินทรายที่มีการเรียงตัวสม่ำเสมอ เกรต (SP) ตามมาตรฐาน USCS ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.4 มิลลิเมตร มีค่า ความถ่วงจำเพาะ 2.655



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การหาขนาดของพลาสติก

วิธีการทดสอบหาขนาดของพลาสติก

1. ทำการอบพลาสติก โดยอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ทำการชั่งตะแกรงทุกขนาดที่ใช้ โดยใช้ขนาด 3/8 นิ้ว , เบอร์ 4 และเบอร์ 10
3. นำพลาสติกออกจากตู้อบแล้วทำการชั่ง
4. นำพลาสติกใส่ลงตะแกรง โดยเรียงตะแกรงจากตะแกรงเบอร์ใหญ่สุดไปตะแกรงเบอร์เล็กสุด ปิดฝาด้านบนและรองด้วยถาด จากนั้นทำการร่อนตะแกรงด้วยมือ
5. ชั่งพลาสติกที่ค้างอยู่บนตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง และทำการบันทึกค่า



รูปที่ 3.1-1 แสดงพลาสติกค้างบนตะแกรง

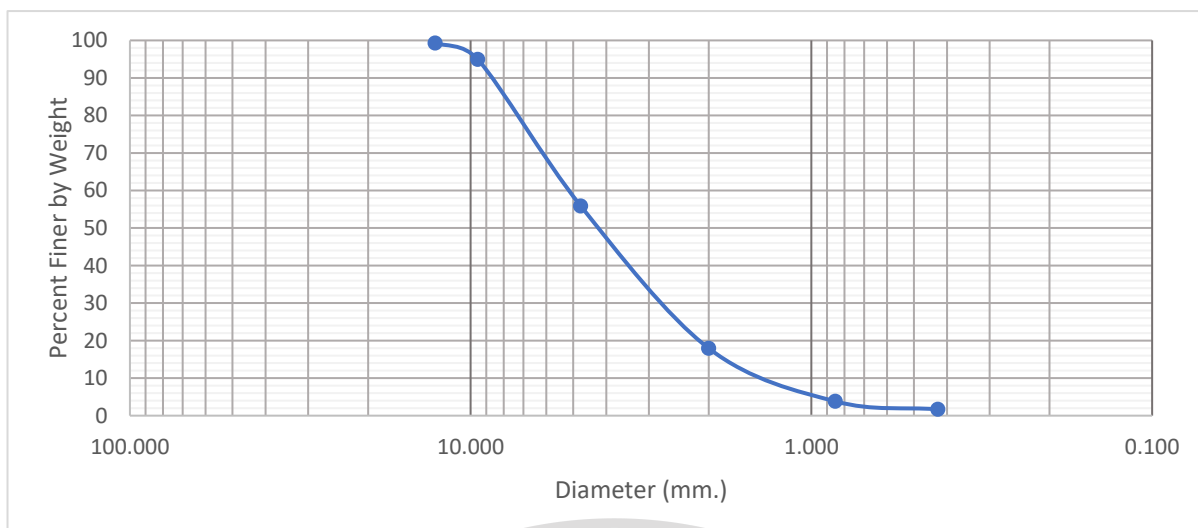
ตาราง 3.1 ตารางแสดงขนาดคละและชนิดของพลาสติก

Sieve NO.	Sieve Opening (mm.)	Weight of Sieve (g.)	Weight of Sieve + Soil (g.)	Weight of Sieve + Retained (g.)	Cumulative Retained (g.)	Cumulative Retained (%)	Percent Finer (%)
1/2"	12.700	497.91	498.28	0.37	0.37	0.74	99.26
3/8"	9.525	527.81	529.98	2.17	2.54	5.08	94.92
4	4.750	485.83	505.36	19.53	22.07	44.14	55.86
10	2.000	486.16	505.13	18.97	41.04	82.08	17.92
20	0.850	394.88	401.94	7.06	48.1	96.2	3.8
40	0.425	573.69	574.75	1.06	49.16	98.32	1.68

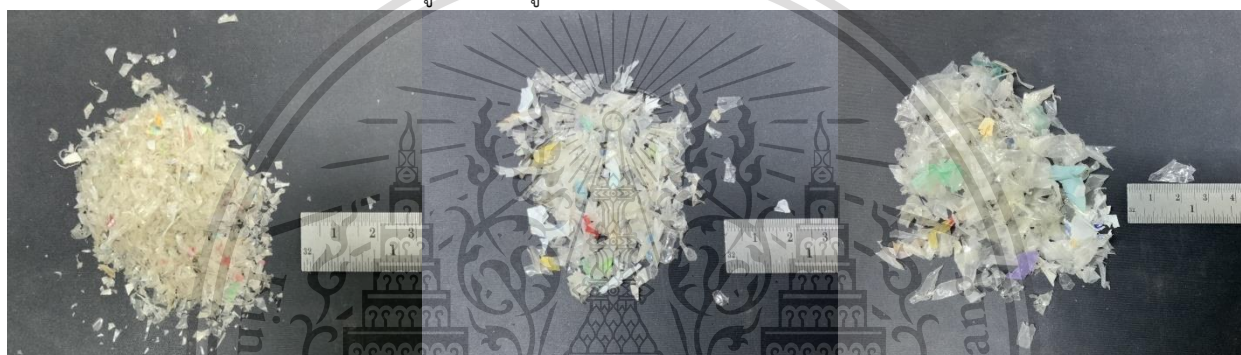
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1-2 รูปแสดงขนาดคละพลาสติก



รูปที่ 3.1-3 แสดงขนาดพลาสติก

จะได้พลาสติกที่ค้ำในแต่ละตะแกรง โดยพลาสติกที่ค้ำบนตะแกรง เบอร์ 4 เราจะเรียกว่า พลาสติกขนาดใหญ่(4.1-5.0 มิลลิเมตร) พลาสติกที่ค้ำบนตะแกรง เบอร์ 10 เราจะเรียกว่า พลาสติกขนาดกลาง (2.5-4.0 มิลลิเมตร) พลาสติกที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 10 เราจะเรียกว่า พลาสติกขนาดเล็ก(น้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตร)

3.2 คุณสมบัติทั่วไปของดิน

ในการศึกษาแบบจำลอง จำเป็นจะต้องทราบคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งได้แก่ ขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis) ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลองของดินที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 การหาขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Analysis)

วิธีการทดสอบหาขนาดของดิน มาตรฐานอ้างอิง : ASTM D-422

1. นำดินเข้าตุ๋น โดยอบที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม.
2. นำดินที่ทำการอบแล้ว แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง มาทำการชั่งดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ทำความสะอาดตะแกรงด้วยแปรงทำความสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักตะแกรงแต่ละเบอร์ โดยใช้เบอร์ 3/4, 1/2, 3/8, 4, 10, 20, 40, 100, 200



รูปที่ 3.2-1 แสดงการชั่งน้ำหนักตะแกรง

4. นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยเรียงจากเบอร์ใหญ่สุดไปจนตะแกรงเบอร์เล็กสุด แล้วใส่ดินลงไป โดยมีฝาปิดด้านบน และมีถาด (Pan) รองด้านล่าง แล้วนำเข้าเครื่องเขย่า ใช้เวลาการเขย่า 10 น.



รูปที่ 3.2-2 แสดงการนำตะแกรงเข้าเครื่องเขย่า

5. นำตะแกรงแต่ละอันที่ทำการเขย่าแล้วมาชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรงรวมกับดินที่ค้างบนตะแกรง ทำการบันทึกค่าแล้วนำไปคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2-3 แสดงการชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรง

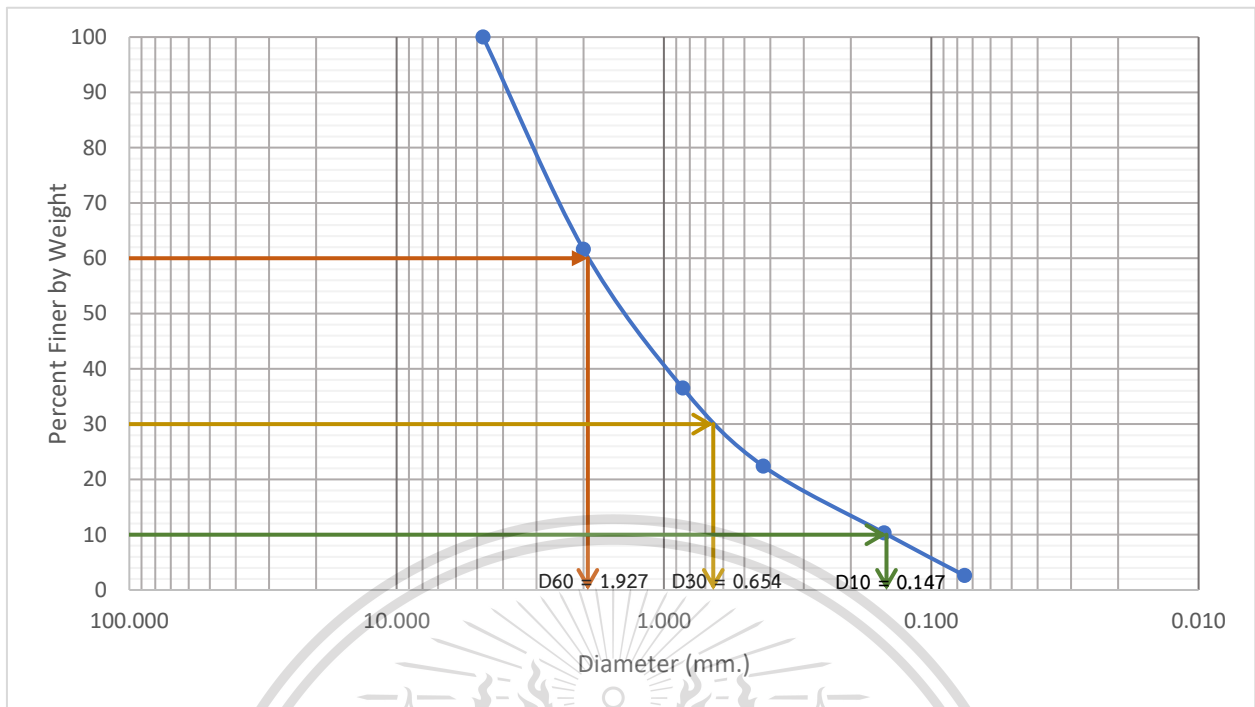
Sieve NO.	Sieve Opening (mm.)	Weight of Sieve (g.)	Weight of Sieve + Soil (g.)	Weight of Soil Retained (g.)	Cumulative Retained (g.)	Cumulative Retained (%)	Percent Finer (%)
3/8	9.5	528	528	0	0	0	100
4	4.750	486	486	0	0	0	100
10	2.000	486	870	384	384	38.4	61.6
20	0.850	382	633	251	635	63.5	36.5
40	0.425	371	512	141	776	77.6	22.4
100	0.150	326	447	121	897	89.7	10.3
200	0.075	309	386	77	974	97.4	2.6
Pan	-	381	408	27	1001	100	0

ตารางที่ 3.2-1 ตารางแสดงข้อมูลขนาดคละของเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

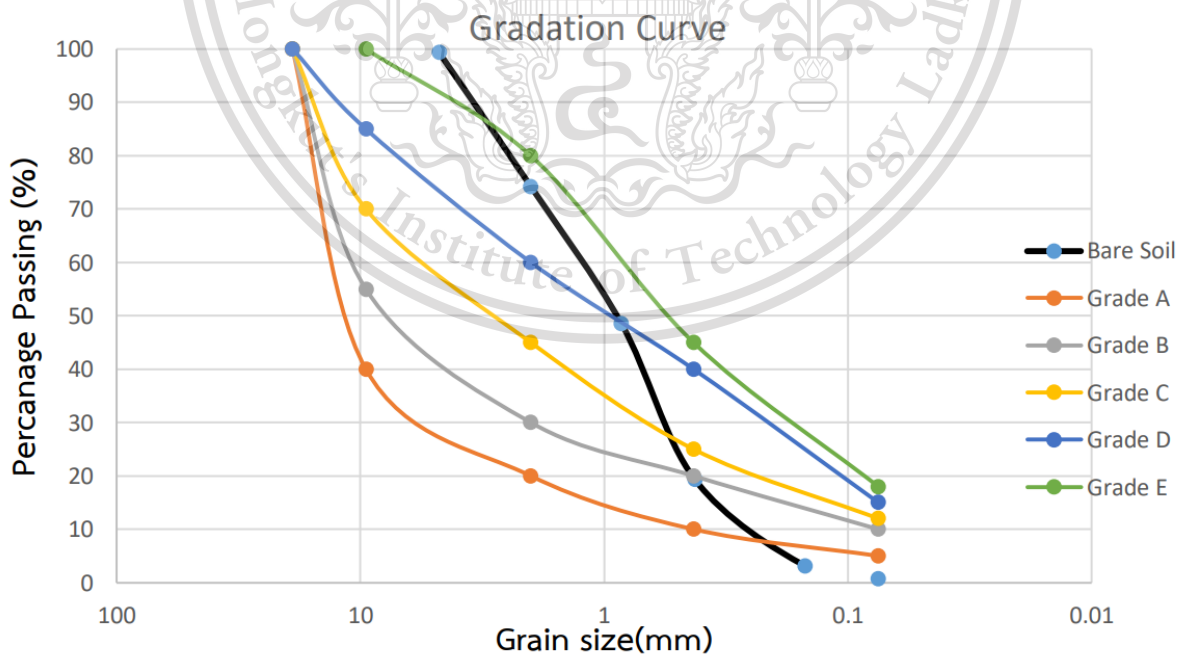
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2-3 รูปแสดงขนาดคละของเม็ดดิน

จากกราฟ แสดงให้เห็นถึงการกระจายของมวลคละของดิน ขนาดของเม็ดดิน ค่าที่ D60, D30, D10 มีค่าเท่ากับ 1.927, 0.654, 0.147 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้ค่า Coefficient of uniformity (C_u) เท่ากับ 13.11 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของเม็ดดินว่า มีความสม่ำเสมอ และได้ค่า Coefficient of Curvature (C_c) เท่ากับ 1.51 ซึ่ง จะแสดงถึงขนาดคละกันว่าขนาดคละกันดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2-4 รูปแสดงการแบ่งเกรดของดินลูกรัง

อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการแบ่งเกรดของดินลูกรังตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของวัสดุมวลรวมของกรมทางหลวง แห่งประเทศไทย เป็นเกรด A , B , C , D , E ซึ่งดินที่ใช้ในการทดสอบจัดเป็นดิน เกรด E

3.2.2 การทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil)

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งประมาณ 50 g ไปใส่น้ำกลั่นแล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นดินประมาณ 10 นาที
2. เทส่วนผสมของดินและน้ำลงในขวด Pycnometer ถึงประมาณ $\frac{3}{4}$ ของคอขวด และใช้กระบอกฉีดยาน้ำกลั่นล้างดินที่ติดอยู่ให้หมด
3. ไล่ฟองอากาศด้วยการต้มให้เดือดบน Hot Plate ประมาณ 10 นาที แล้วนำขวดแก้วออกมาปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง
4. ปรับระดับน้ำดินให้เท่ากับขีดบอกปริมาตร 250 หรือ 500 ml^2 วัดอุณหภูมิน้ำดินในขวด เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่ง
5. เทแล้วล้างน้ำดินในขวดลงในภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้ง
6. นำมาชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง โดยเราจะทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

มาตรฐานอ้างอิง ASTM D 854

จากผลการทดลองพบว่าดินลูกรังมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.611

PYCNOMETER CALIBRATION 1		
NO.	Flask + Water (g.)	Temperature (C)
1	678.496	40
2	679.31	34
3	679.532	30
4	679.852	28

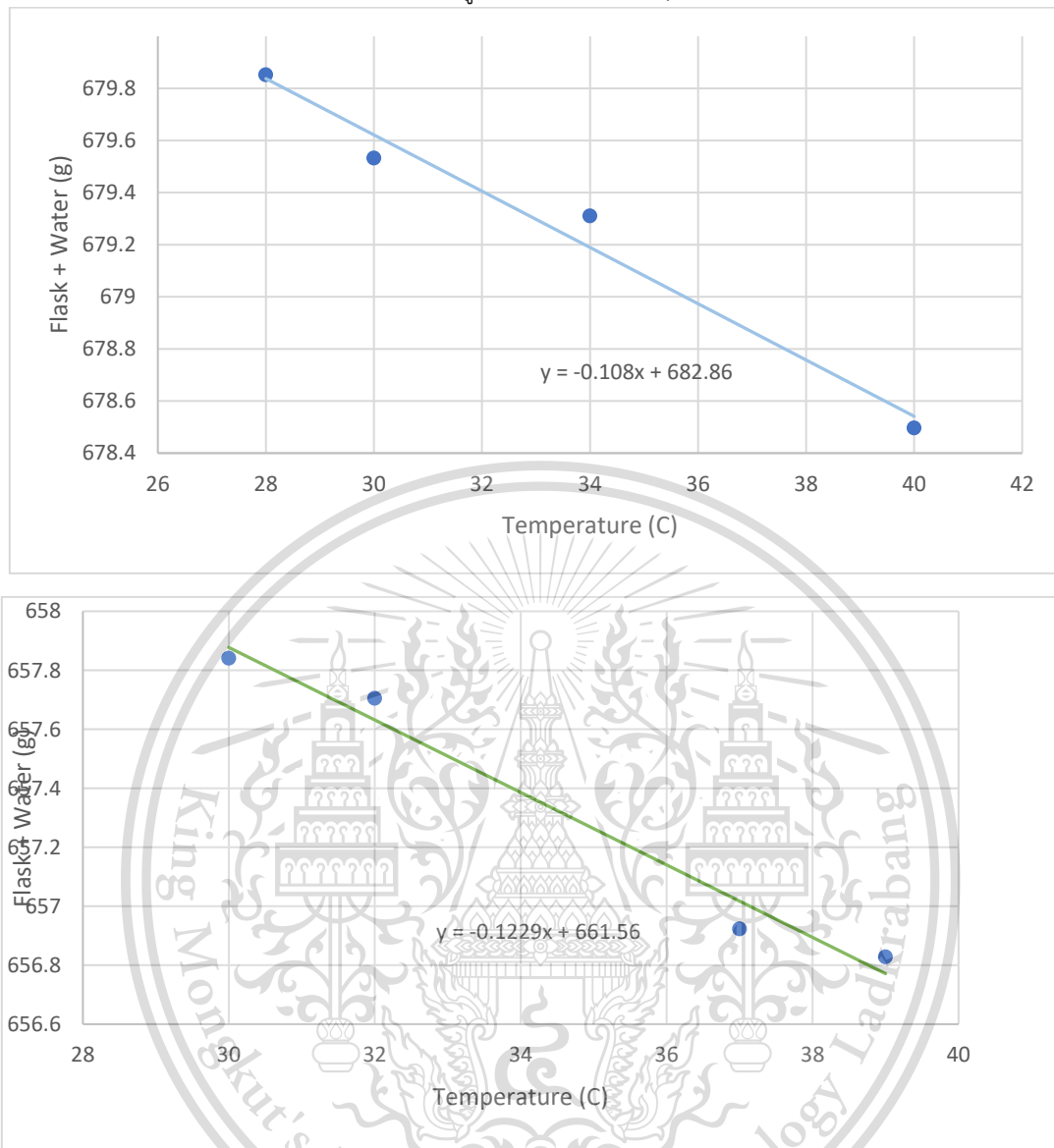
PYCNOMETER CALIBRATION 2		
NO.	Flask + Water (g.)	Temperature (C)
1	656.828	39
2	656.923	37
3	657.705	32
4	657.841	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2-2 ข้อมูล Calibration of Pycnometer



รูปที่ 3.2-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ (°C) กับน้ำหนักรวมระหว่างขวดแก้วกับน้ำ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Trial NO.	1(26)	2(no name)
Temperature , C	32	34
Flask + Water , g	657.515	679.513
Flask + Water +Soil , g	688.541	710.135
Container No.	Ex.1	Ex.2
Dry Soil + Container , g	154.61	146.46
Weight of Container , g	104.48	97.01
Dry Soil , g	50.13	49.45
GT	0.9951	0.9944
GS	2.611	2.612
Average GS	2.611	

ตารางที่ 3.2-3 ข้อมูลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

3.2.3 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction)

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยวิธีการทดสอบที่ใช้คือ วิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้ Mold ขนาด $\emptyset 4 \times 4.6$ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของ Mold และนำไปหาปริมาตร
2. ชั่งน้ำหนักของ Mold ที่ประกอบ base plate หลังจากนั้นประกอบ collar เข้าไป
3. นำดิน 5 kg มาผสมน้ำให้มีความชื้น โดยเราใช้น้ำเริ่มแรกที่ 10% ของตัวอย่างดิน จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันพยายามให้ทุกส่วนในดินมีความชื้นที่เท่ากัน
4. ใช้ช้อนตักดินใส่ Mold ทีละชั้น ซึ่งเราจะแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน แล้วใช้ Rammer ขนาด 5.5 lb.บดอัดดินแต่ละชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง
5. ถอด collar ออก แล้วใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold ออกและปรับแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบ Mold และนำไปชั่งน้ำหนัก
6. เอาดินออกจาก Mold แล้วนำตัวอย่างดินบริเวณกลางอย่างน้อย 100 g ไปหาปริมาณความชื้น โดยนำไปชั่งแล้วนำไปใส่ตู้อบ
7. นำตัวอย่างดินที่เหลือมาผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทำการทดสอบตามข้อ 3-6 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน Mold ที่ชั่งลดลง โดยทำการเพิ่มปริมาณน้ำไปเรื่อย ๆ ทั้งหมด 5 ค่า
8. คำนวณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินในการบดอัด ตัวอย่างดินแต่ละครั้ง แล้วพล็อตเส้นโค้งเรียบผ่านจุดที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้กึ่งห้ามเผยแพร่ต่อแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

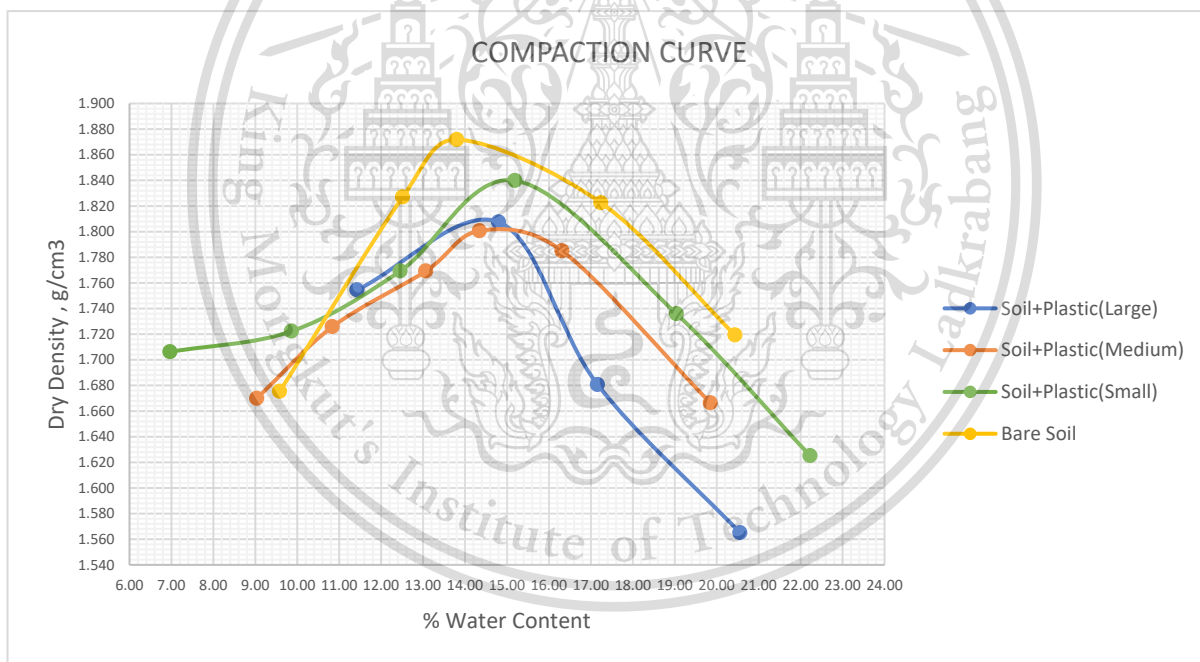
โดยเราจะทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

จากการทดสอบการบดอัดดินโดยการผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้

SOIL + PLASTIC (LARGE)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.755	1.808	1.681	1.565		
WATER CONTENT , %	11.43	14.80	17.16	20.55		
SOIL + PLASTIC (MEDIUM)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.670	1.726	1.769	1.801	1.785	1.666
WATER CONTENT , %	9.04	10.84	13.07	14.34	16.31	19.85
SOIL + PLASTIC (SMALL)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.706	1.722	1.769	1.840	1.736	1.625
WATER CONTENT , %	6.97	9.86	12.45	15.19	19.04	22.23
BARE SOIL (NO.1)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.675	1.827	1.872	1.823	1.719	
WATER CONTENT , %	9.58	12.51	13.81	17.24	20.44	

ตารางที่ 3.2-4 ข้อมูลการทดสอบการบดอัดดิน

รูปที่ 3.2-10 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (g/cm³) กับปริมาณความชื้น (%)



รูปที่ 3.2-6 รูป แสดงกราฟคอมเพกชันของดินเปล่าและดินผสมพลาสติก

จากกราฟพบว่า ดินลูกรัง มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.870 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 13.75 เปอร์เซ็นต์

ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดเล็กที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.840 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 15.00 เปอร์เซ็นต์

ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดกลางที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.800 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 14.70 เปอร์เซ็นต์

ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดใหญ่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.810 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 14.50 เปอร์เซ็นต์

3.3 คุณสมบัติเชิงกลของดินผสมขยะพลาสติก

การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (DIRECT SHEAR TEST)

มาตรฐานอ้างอิง : ASTM D – 3080

คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดินที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ กำลังหรือความแข็งแรงของมวลดิน (Soil strength)ทางด้านปฐพีกลศาสตร์ เราถือว่ากำลังของดิน คือ ความสามารถของมวลดินในการรับแรงเฉือน (Shearing strength) ซึ่งแตกต่างจากเหล็กหรือคอนกรีต ซึ่งพิจารณาแรงดึงหรือแรงอัดเป็นสำคัญ

การทดสอบแบบ Direct shear เป็นการทดสอบหาค่าแรงเฉือนของวัสดุ (Internal friction angle ϕ และ Cohesion c)

ดินจะถูกบังคับให้บีบอัดในแนวที่คาดการณ์ไว้ คือบริเวณประมาณกึ่งกลาง ในการทดสอบจะทำการใส่ตัวอย่างดินใน shear box และใส่ normal load กระทำในแนวตั้งกับตัวอย่างและเฉือนตัวอย่างใน shear box พร้อมตรวจสอบการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทั้งในแนวตั้งและแนวราบ

ประเภทการทดสอบ Direct Shear Test

- 1 Stress-controlled ทำได้โดยการใส่ Load ก่อนเฉือนดินด้วยความสม่ำเสมอ และค่อยๆเพิ่ม load
 - 2 Strain-controlled ทำโดยการควบคุมให้ shear box มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอ
- ซึ่งการทดสอบของเราเป็นไปตามแบบที่ 2

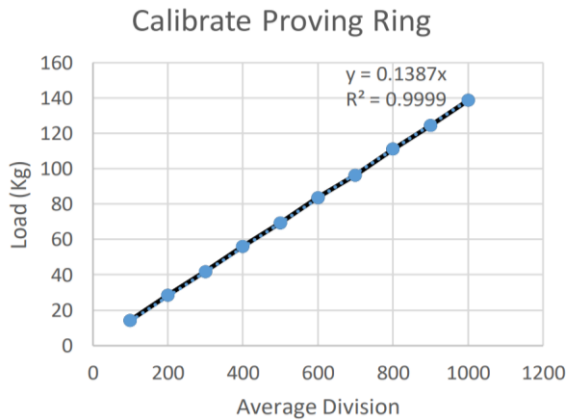
อุปกรณ์

1. Direct shear Testing Machine
2. Shear box พร้อมตัวอย่าง
3. Proving Ring วัดขนาดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-1 Calibrate Proving ring

จากการ คาลิเบตได้ค่า K= 0.1387

4. Dial Gauge วัดการเคลื่อนตัวในแรวราบ อ่านละเอียด 0.001 มิลลิเมตร และการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง อ่านได้ละเอียด 0.0001 มิลลิเมตร
5. Plate Loading ซึ่งคำนวณได้ด้วย

$$\text{น้ำหนักถ่วง (กรัม)} = \frac{\gamma_{\text{ดิน}} * H * A * n}{10 \frac{10}{10}}$$

เมื่อ

$\gamma_{\text{ดิน}}$ = ความหนาแน่นของดิน (g/cm^3)

H = ความลึกชั้นดินที่พิจารณา (Cm)

A = พื้นที่หน้าตัดของShear box (cm^2)

n = น้ำหนักของหัว Cap (g)

6. เครื่องชั่ง
7. เวอร์เนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างและการติดตั้งเครื่องมือ โดยทดสอบที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ

1. ทำการผสมดินกับพลาสติกตามอัตราส่วนที่ต้องการ และผสมน้ำให้ได้ตามความชื้นที่เหมาะสม(O.M.C) คลุกเคล้าให้เข้ากัน



รูปที่ 3.3-2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

2. ทำการบดอัดดินตัวอย่างลงใน Shear box โดยบดอัดให้ได้ความหนาแน่นที่ต้องการ



รูปที่ 3.3-3 บดอัดดินลงใน shear box

3. นำ Shear box ไปใส่เครื่อง Direct Shear จากนั้น วางแผ่นเหล็กด้านบน (loading Pad) ให้ร่องขวางแนวทิศการเฉือน



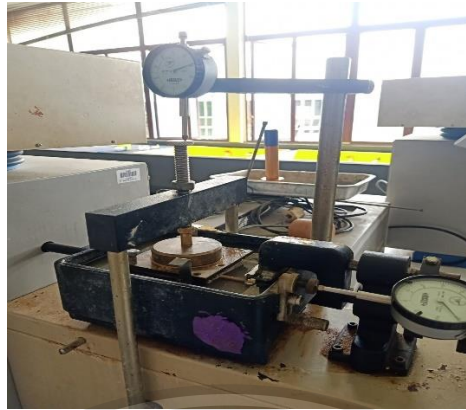
รูปที่ 3.3-4 แผ่นหินพรุน และ Loading pad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. เติมน้ำเพื่อให้ดินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ และใส่น้ำหนักกระทำในแนวตั้งจนกว่าดินหยุดการทรุดตัว ใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที



รูปที่ 3.3-5 แซ่ตัวอย่างในน้ำและรอให้หยุดทรุดตัว

การกระทำการเลื่อนตัวอย่างดิน

1. ถอดสกรู Shear Box ออก ปรับ Dial Gauge ทั้งแนวตั้งและแนวนอนให้อยู่ที่ 0
2. ตั้งค่า Shearing Rate บนหน้าปัดให้อยู่ที่ 0.2 มม./นาที
3. อ่านค่าวางแหวนวัดแรง และการเคลื่อนตัวแนวตั้งทุกๆ การเคลื่อนตัวในแนวนอน 10×0.01 มม.)

โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge อ่านไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง Proving Ring ลดลงหรือคงที่ประมาณ 5 ค่า

****หาค่าคงที่ ก่อน การเคลื่อนตัวแนวนอน 8 มม. ให้อ่านจนกระทั่งถึง 8 มม.

4. ถอดกล่องตัวอย่าง Shear Box ออกแยกดินตัวอย่างเทลงภาชนะอย่าให้ตกหล่น เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป
5. ทำการทดสอบดังกล่าวอีก 2 ครั้งโดยเตรียมให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน และในการทดสอบแต่ละครั้งทำการเปลี่ยนน้ำหนักแหวน ตามที่คำนวณไว้เพื่อให้ได้ Normal Load และ Shear Max อีก 2 ค่า

การคำนวณผลการทดสอบ

1. คำนวณ Shear stress จากสมการ

$$\tau = \frac{P.R. \times K}{A}$$

เมื่อ

P.R. = Proving ring reading

K = Proving ring constant

A = Shearing area

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Horizontal displacement และ Vertical displacement กับ Horizontal displacement ของทุกตัวอย่างในการทดสอบชุดเดียวกัน จากนั้น หา

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่าสูงสุดของShear stress (τ_{max})จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Horizontal displacement

3. เขียน Mohr's Diagram ระหว่าง σ_n (normal stress) และ τ_{max} ของทุกตัวอย่าง แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น เส้นตรงนี้เรียกว่า “Mohr – Coulomb Failure Envelope” คือเส้นที่แทน ความแข็งแรงหรือกำลังของดิน ซึ่งเราจะได้ค่าความเชื่อมแน่น (cohesion , c) และค่ามุมเสียดทานภายใน (internal friction angle , ϕ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

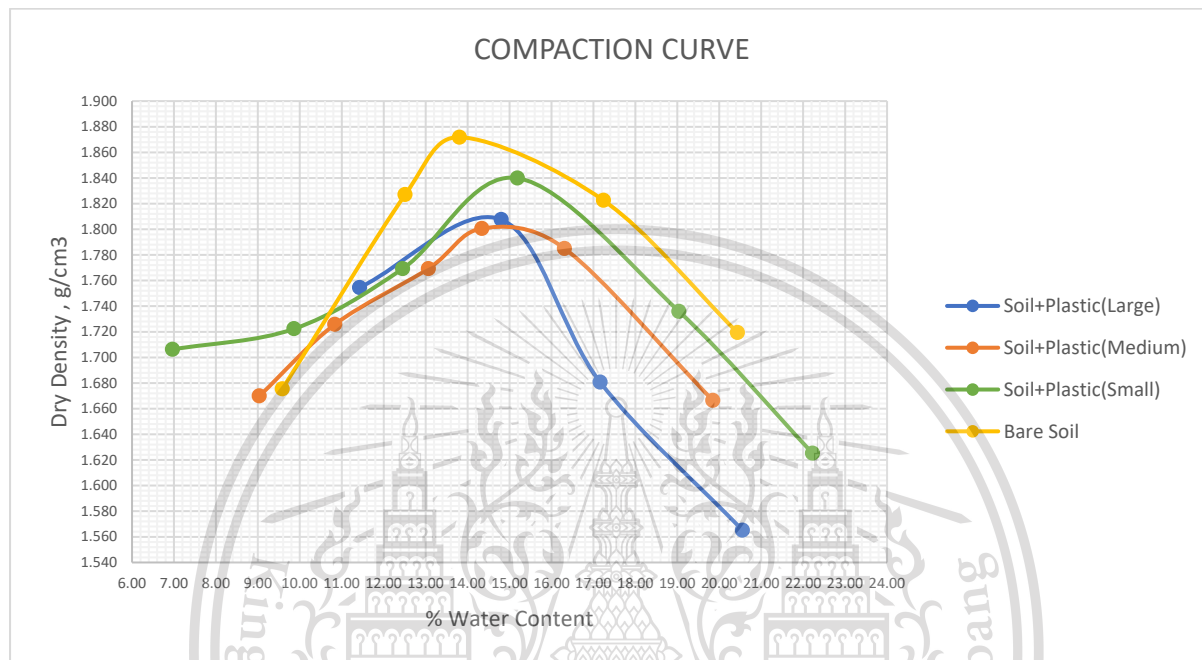
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลจากการทดสอบการบดอัดดินของดินผสมเศษขยะพลาสติก

จากการทดลองการบดอัดดินโดยการผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (g/cm^3) กับปริมาณความชื้น (%)

จากกราฟเมื่อผสมดินลูกรังกับพลาสติกขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง จะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.840, 1.800, 1.810 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และดินลูกรังเท่ากับ 1.870 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

และมีความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 15.00, 14.70, 14.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและดินลูกรังเท่ากับ 13.75 เปอร์เซ็นต์

การบดอัดทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งของดินสูงขึ้น เพราะไปลดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน แต่เมื่อใส่พลาสติกลงไปดินทำให้ความหนาแน่นน้อยเพราะเกิดการบดอัดได้ยากขึ้นกว่าเดิม

ความหนาแน่นของดินผสมพลาสติกใหญ่ที่มีค่าน้อย เนื่องจากพลาสติกขนาดใหญ่เข้าไปแทรกเม็ดดินยากกว่าพลาสติกขนาดเล็ก มีช่องว่างเกิดขึ้นเยอะ ทำให้บดอัดได้ยากกว่า

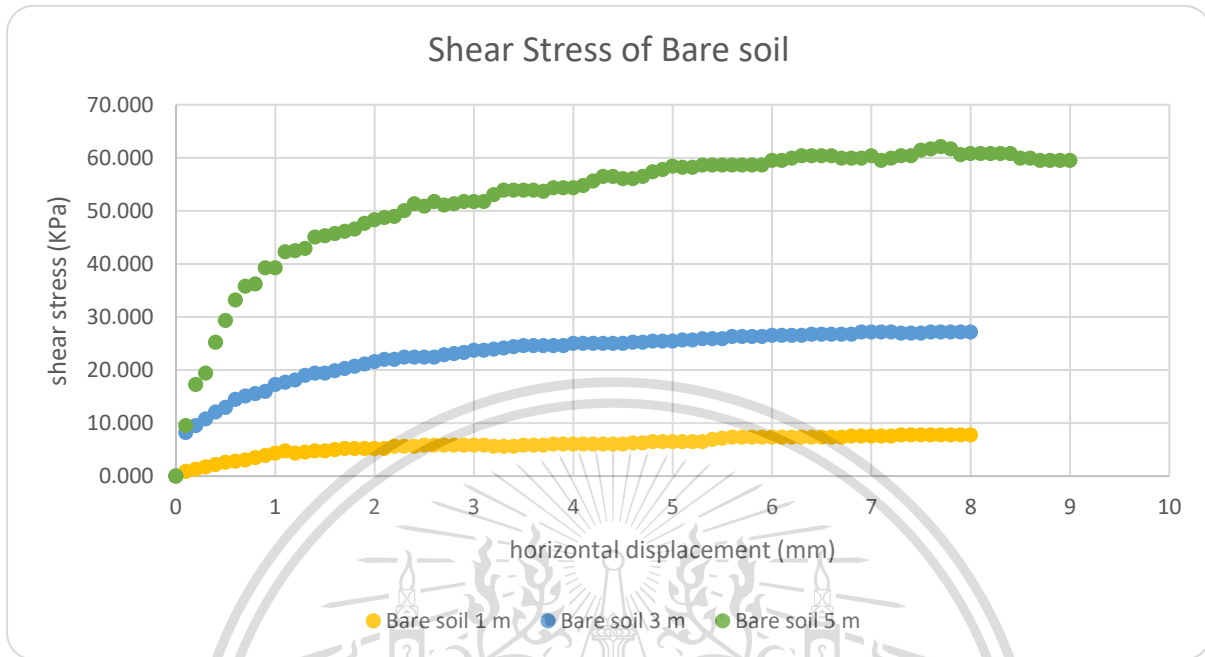
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

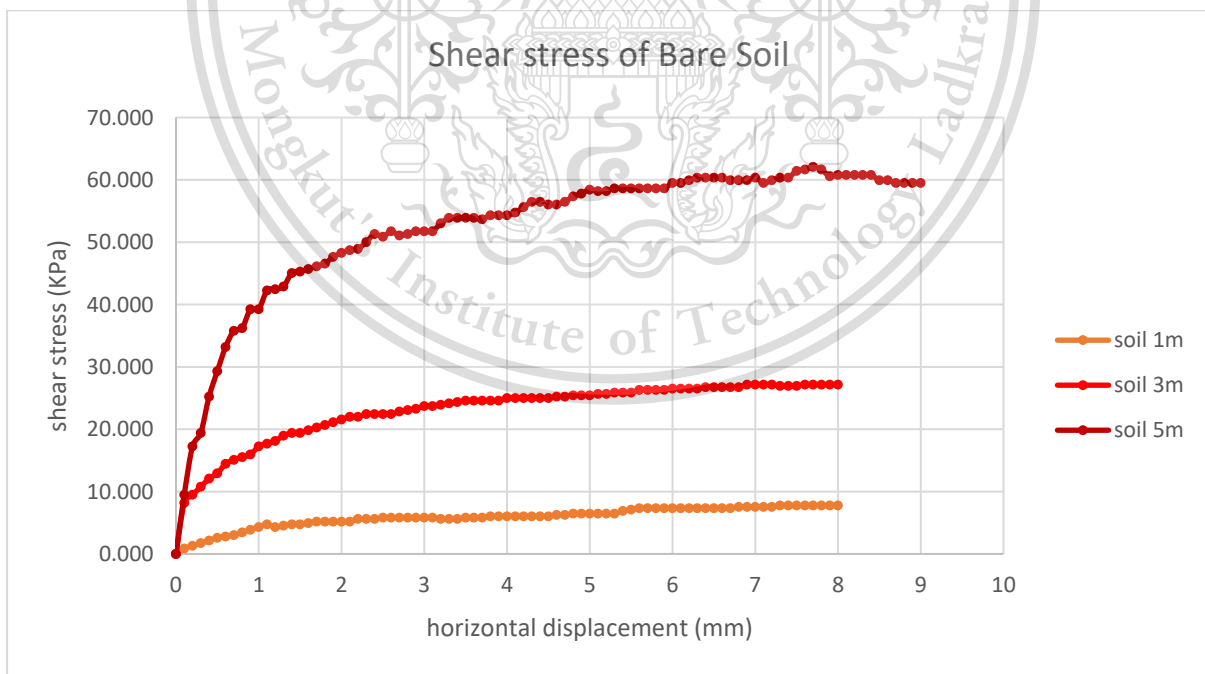
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1 ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังไม่ผสมผสมเศษขยะพลาสติก

4.2.1 ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังที่ไม่มีการผสมเศษขยะพลาสติก ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.2.1-1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress(KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก

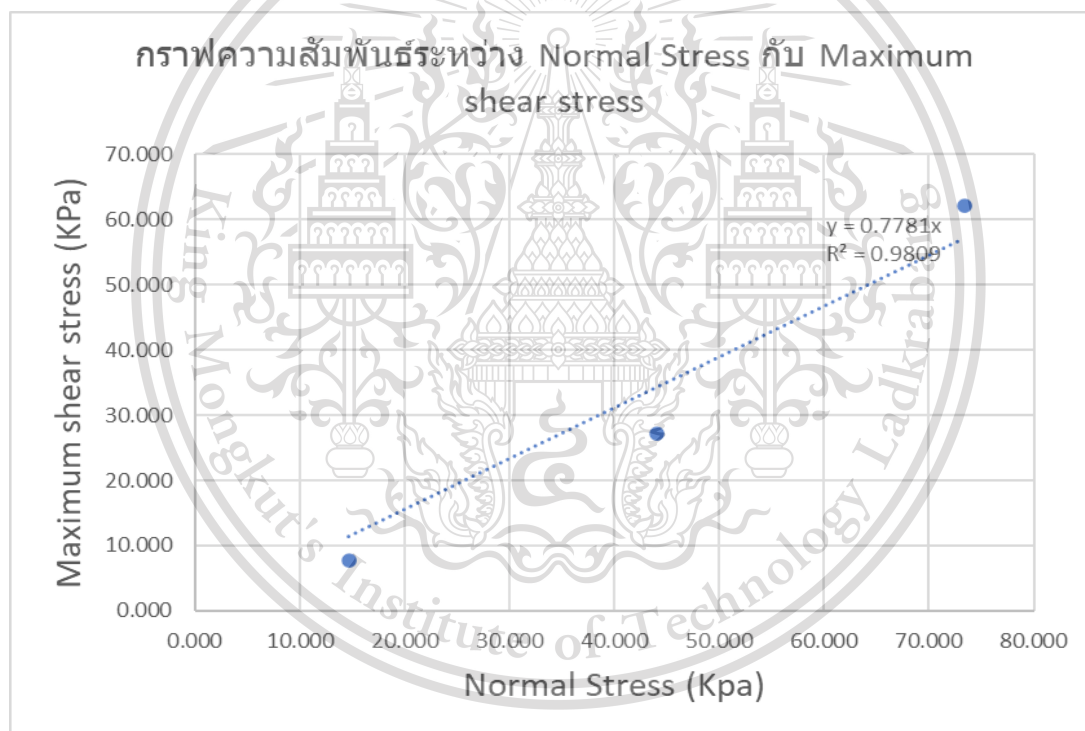


รูปที่ 4.2.1-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normal displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก

จากนั้นนำกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละความลึกมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Normal stress (KPa) และ Shear stress (KPa) เพื่อหามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) ได้ดังนี้

Depth (m)	Maximum shear stress (Kpa)	Normal stress (Kpa)
1	7.761	14.68
3	27.162	44.03
5	62.085	73.38

ตารางที่ 4.2.1-ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก



รูปที่ 4.2.1-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress กับ Maximum shear stress ของดินไม่ผสมพลาสติก

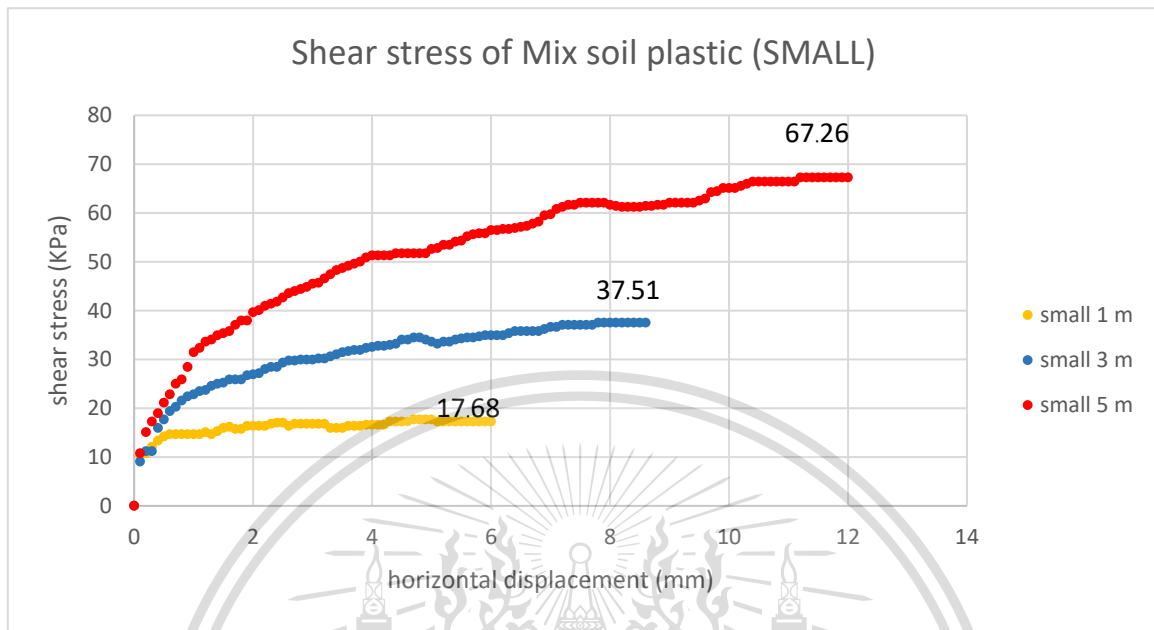
จากกราฟจะเห็นว่าดินลูกรังไม่ผสมพลาสติก มีค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) เท่ากับ 37.886°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

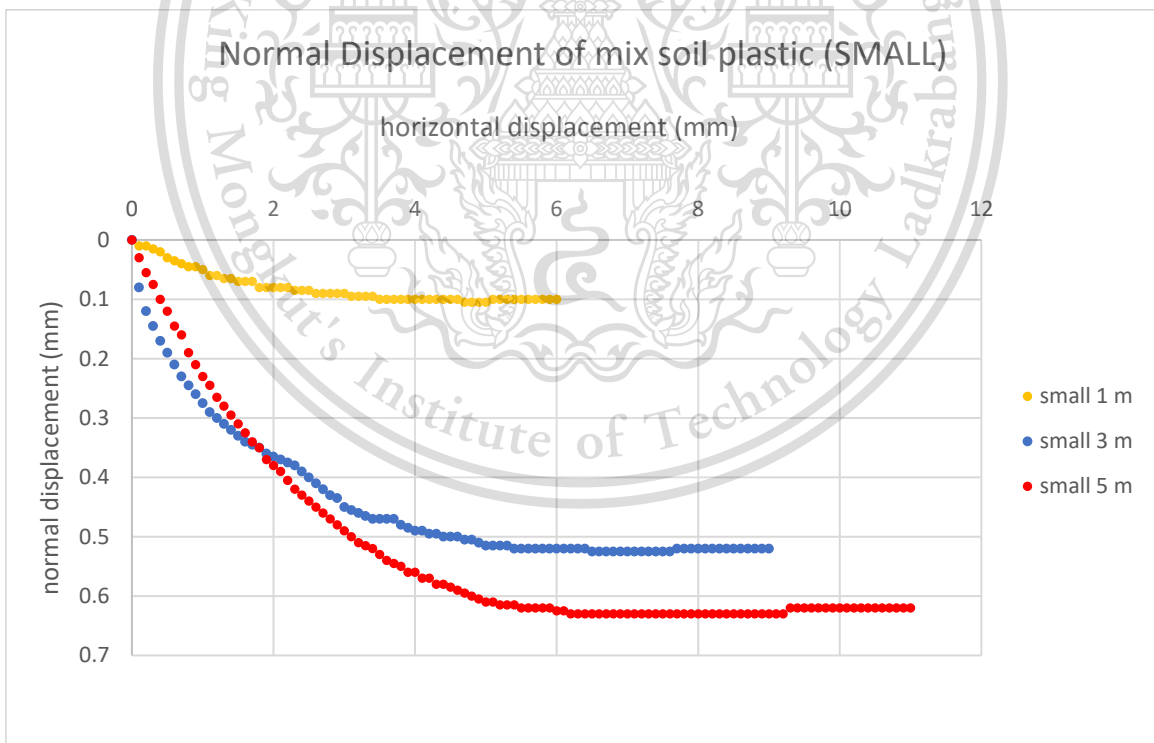
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 ผลจากการทดสอบหาค่ารับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.2.2-1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสม



เศษขยะพลาสติกขนาดเล็กที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง

รูปที่ 4.2.2-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normal displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

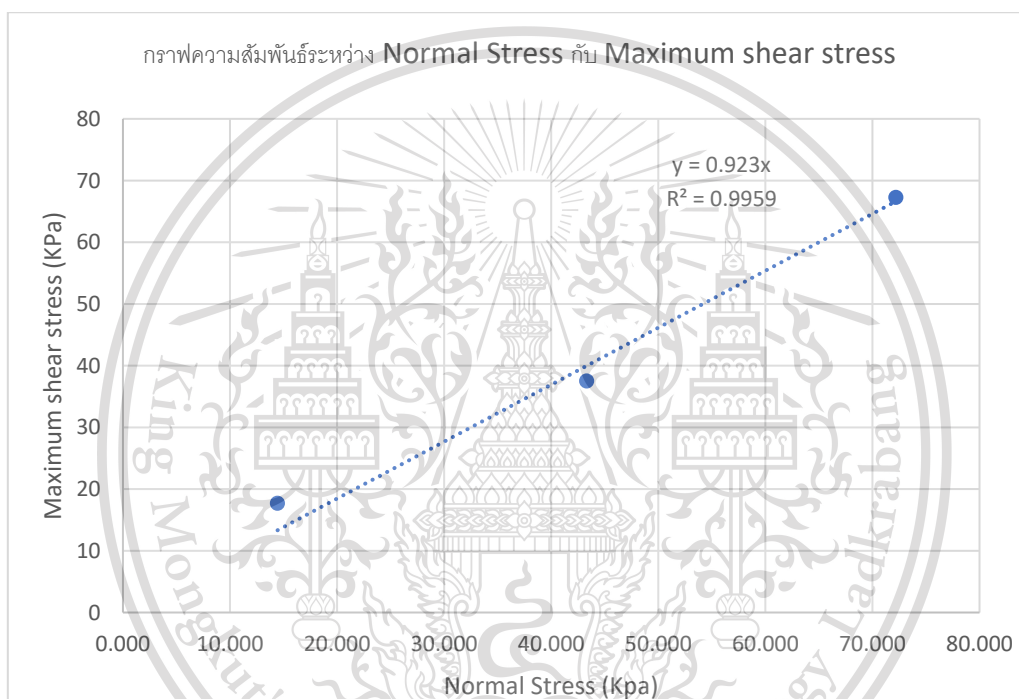
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากนั้นนำกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละความลึกมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Normal stress (KPa) และ Shear stress (KPa) เพื่อหามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) ได้ดังนี้

Depth (m)	Maximum shear stress (Kpa)	Normal stress (Kpa)
1	17.677	14.440
3	37.510	43.320
5	67.259	72.202

รูปที่ 4.2.2-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง



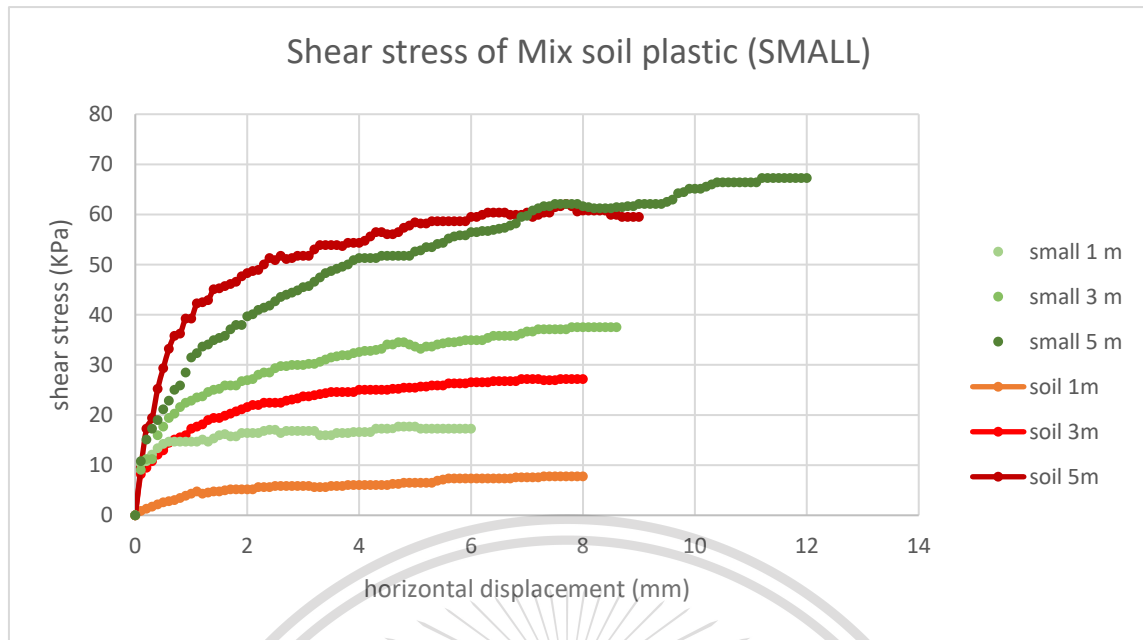
รูปที่ 4.2.2-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress กับ Maximum shear stress ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1 %

จากกราฟจะเห็นว่าดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็ก ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้งมีค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) เท่ากับ 42.71°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2.2-4 กราฟเปรียบเทียบ *shear stress (KPa)* ระหว่างดินลูกรังไม่ผสมพลาสติกและดินลูกรังที่ผสมพลาสติกขนาดเล็ก

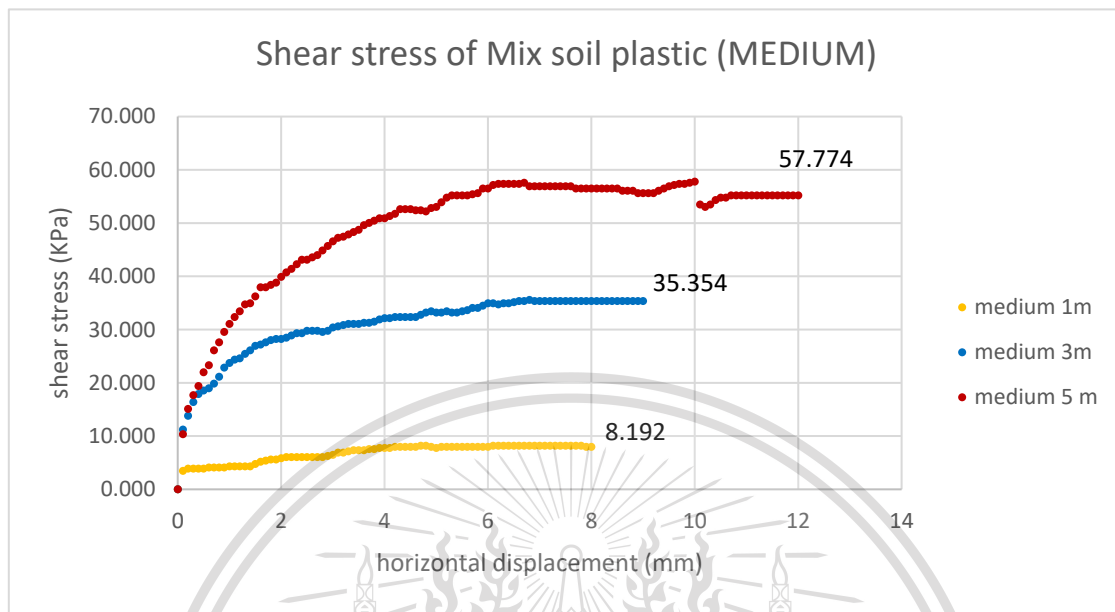
เมื่อนำค่า Shear Stress ของดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดเล็กที่ได้จากทดสอบมาเทียบกับ Shear Stress ของดินลูกรังที่ไม่มีการผสมพลาสติกแล้ว สังเกตได้ว่ามีดินลูกรังผสมพลาสติกส่งผลให้มีค่า maximum shear stress ที่ 5 เมตรลดลงจาก 62.085 kPa เป็น 67.259 kPa แต่ที่ความลึก 1 เมตร และ 3 เมตร มีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างดินเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

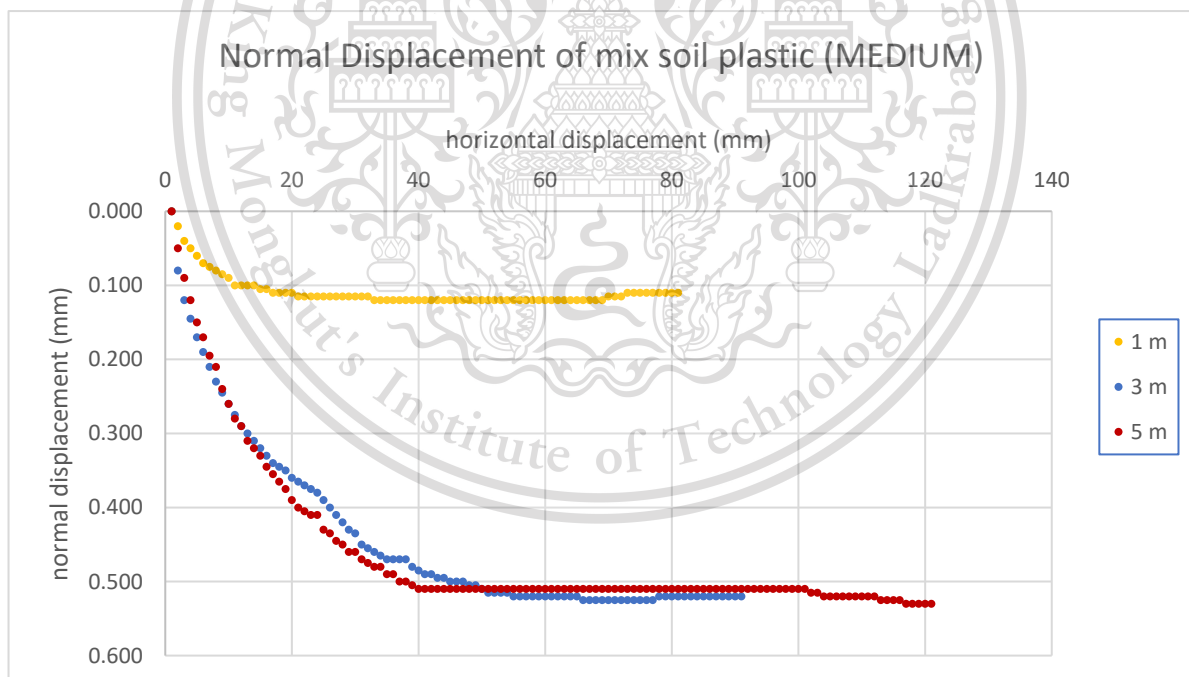
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 ผลจากการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.2.3-1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง



รูปที่ 4.2.3-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vertical displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง

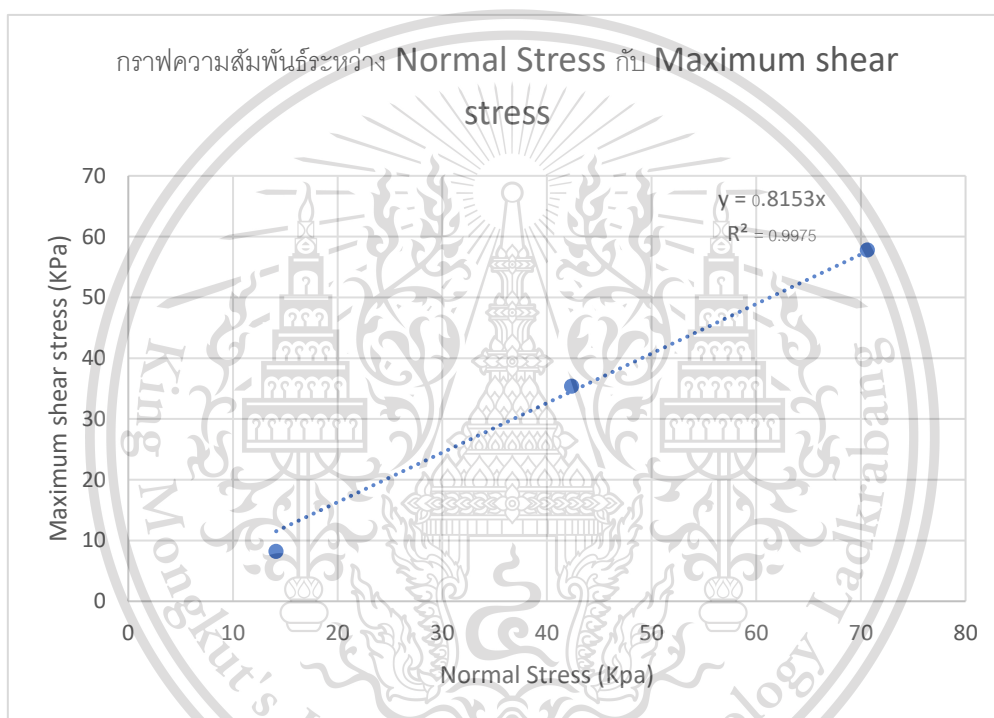
จากนั้นนำกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละความลึกมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Normal stress (KPa) และ Shear stress (KPa) เพื่อหามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) ได้ดังนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Depth (m)	Maximum shear stress (Kpa)	Normal stress (Kpa)
1	8.192	14.126
3	35.354	42.379
5	57.774	70.632

ตารางที่ 4.2.3-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง



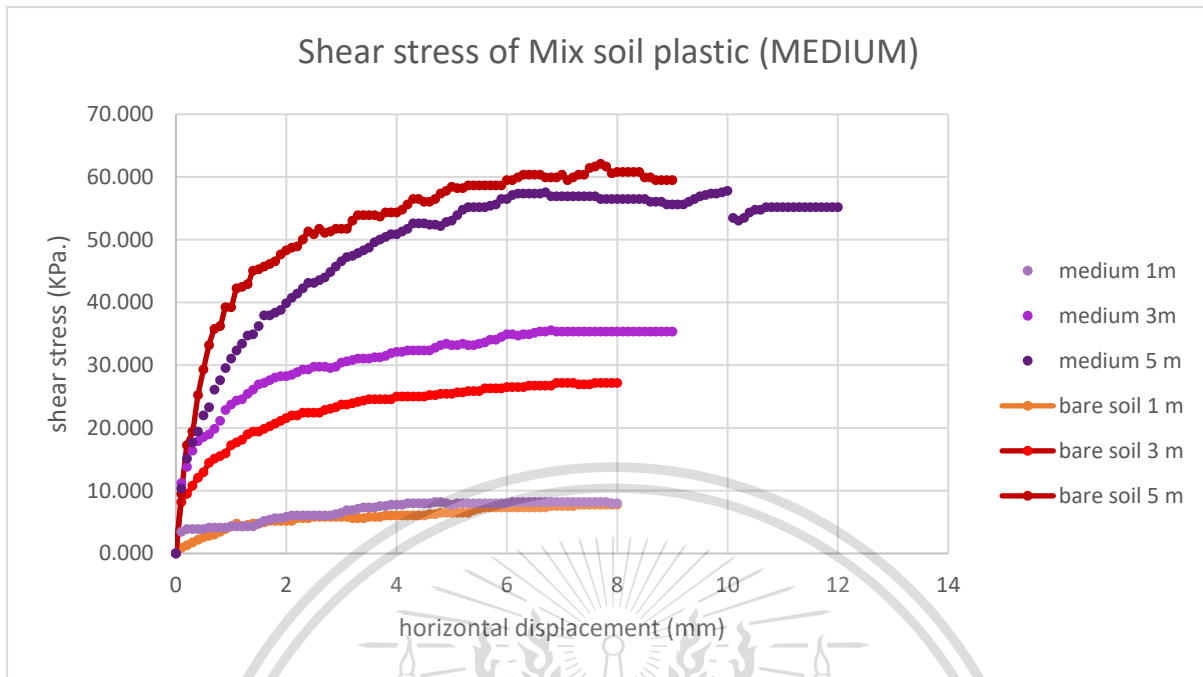
รูปที่ 4.2.3-3 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง

จากกราฟจะเห็นว่าดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้งมีค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) เท่ากับ 39.19°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2.3-4 กราฟเปรียบเทียบ shear stress (KPa) ระหว่างดินลูกรังไม่ผสมพลาสติกและดินลูกรังที่ผสมพลาสติกขนาดกลาง

เมื่อนำค่า Shear Stress ของดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดกลางที่ได้จากทดสอบมาเทียบกับ Shear Stress ของดินลูกรังที่ไม่มีการผสมพลาสติกแล้ว สังเกตได้ว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ผสมพลาสติกส่งผลให้มี maximum shear stress ที่ 5 เมตรเพิ่มลดลงจาก 62.058 kPa เป็น 57.774 KPa แต่ที่ความลึก 1 เมตร และ 3 เมตร มีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างดินเปล่า

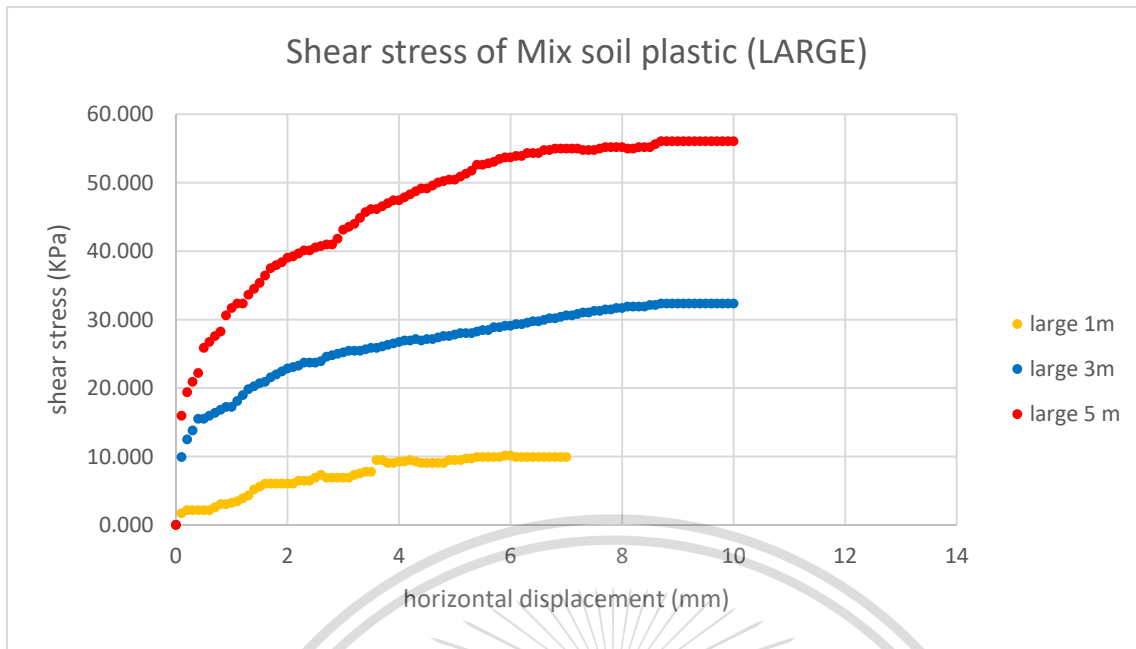
4.2.4 ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดใหญ่ ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง ได้ผลดังนี้

เป็นการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของพลาสติกที่มีตกค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 หรือขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร โดยใส่พลาสติกปริมาณ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของดิน

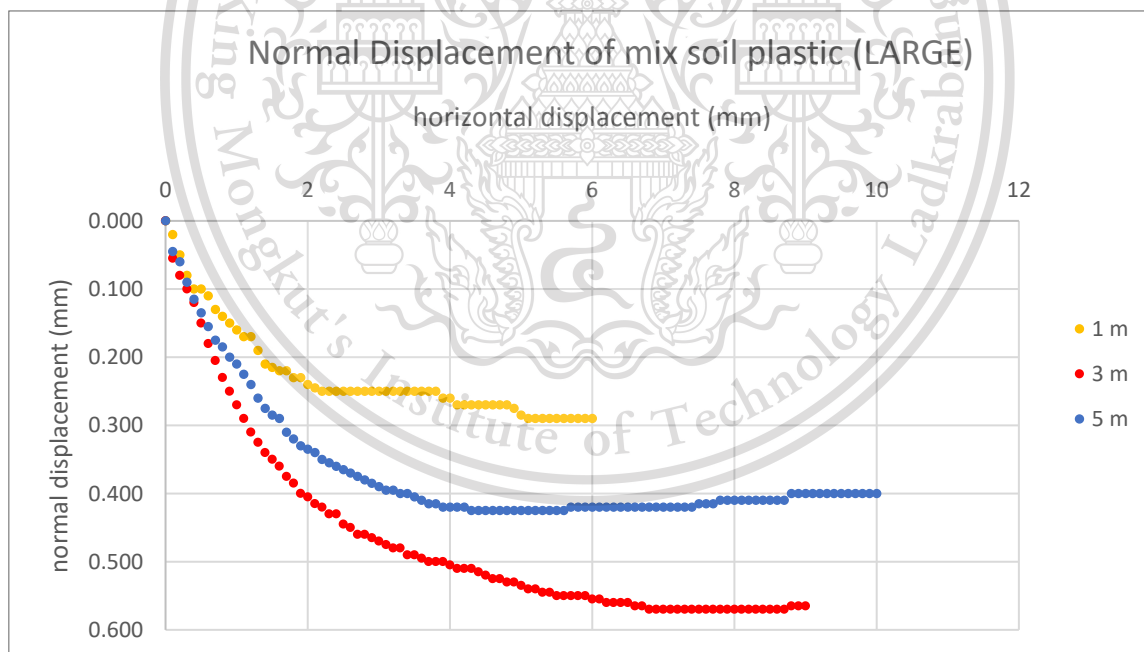
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2.4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPA) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดใหญ่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง



รูปที่ 4.2.4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vertical displacement (mm) กับ Horizontal displacement (mm) ของดินลูกรังผสมพลาสติกที่ขนาดใหญ่ ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง

นำค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของของทั้ง 3 ความลึกมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress (KPa) และ Shear Stress (KPa) เพื่อนำมาหามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction)

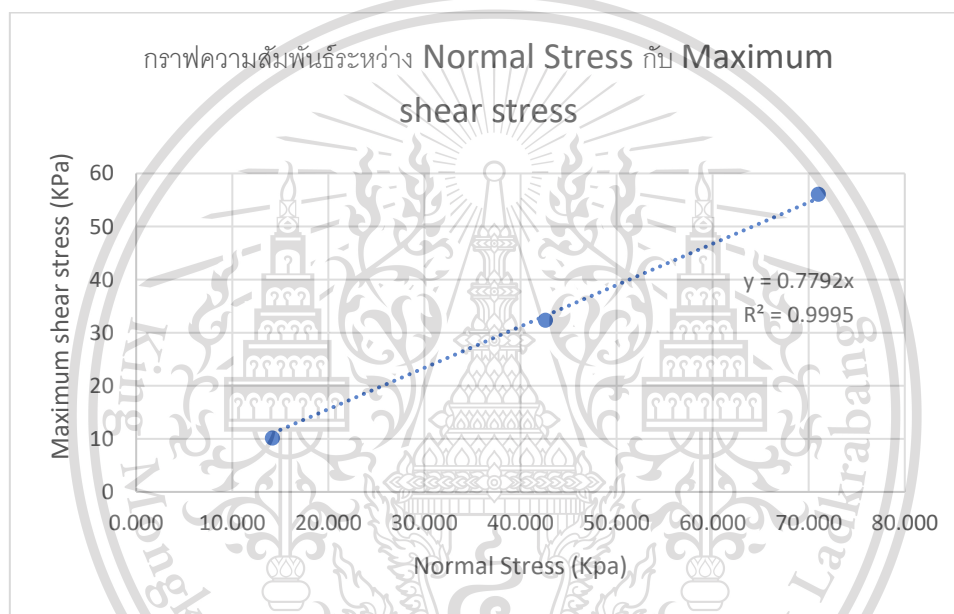
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Depth (m)	Maximum Shear stress (KPa)	Normal Stress (KPa)
1	10.132	14.20
3	32.336	42.61
5	56.049	71.02

ตารางที่ 4.2.4-1 ตารางแสดงค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดใหญ่ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง



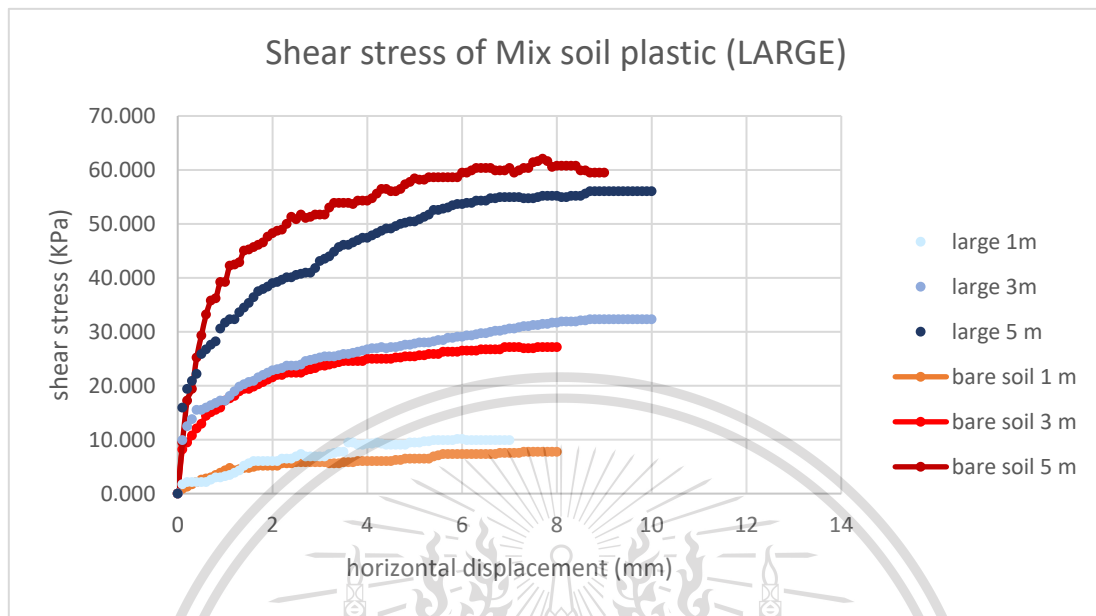
รูปที่ 4.2.4-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดใหญ่ ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟจะเห็นว่าดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลาง ที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้งมีค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) เท่ากับ 37.925°



รูปที่ 4.2.4-3 กราฟเปรียบเทียบ *shear stress (KPa)* ระหว่างดินลูกรังไม่ผสมพลาสติกและดินลูกรังที่ผสมพลาสติกขนาดใหญ่

เมื่อนำค่า Shear Stress ของดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดใหญ่ที่ได้จากทดสอบมาเทียบกับ Shear Stress ของดินลูกรังที่ไม่มีการผสมพลาสติกแล้ว สังเกตได้ว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ผสมพลาสติกส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนลดลง โดยค่า maximum shear stress ที่ 5 เมตรลดลงจาก 62.058 KPa เป็น 56.049 KPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 บทนำ

ผลการศึกษาเพื่อหาขนาดขยะพลาสติกที่เหมาะสมโดยมีปริมาณพลาสติกเป็น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง โดยศึกษาความสัมพันธ์กำลังต้านทานแรงเฉือนกับขนาดของพลาสติก ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของดินลูกรังที่มีการผสมเศษขยะพลาสติกได้

5.2 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของเศษขยะพลาสติกเพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังโดยการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ได้ผลดังนี้

5.2.1 พฤติกรรมรับแรงเฉือนและการหลุดตัวของดินลูกรังเมื่อผสมเศษขยะพลาสติก

ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนเมื่อทำการใส่เศษขยะพลาสติกขนาดต่างๆมีเพียงพลาสติกขนาดเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 2.5 มิลลิเมตร) เท่านั้นที่สามารถเสริมกำลังรับแรงเฉือนของดินให้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่พลาสติกขนาดกลางและใหญ่ไม่ค่อยส่งผลต่อการเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน ในกรณีของพลาสติกขนาดใหญ่หรืออีก ตามมาตรฐาน ASTM D3080-04 วัสดุ ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตรเนื่องพลาสติกขนาดใหญ่ของเรามีขนาด 4.1-5.0 มิลลิเมตร วัสดุบางชิ้นมีขนาดเกินซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดลอง และเนื่องจากดินลูกรังมีพฤติกรรมมีความเหนียวเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการใส่เศษขยะพลาสติก และมีการหลุดตัวของดินลูกรังเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลมาจากการผสมเศษขยะพลาสติก ส่งผลให้มีช่องว่างแล้วการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้น

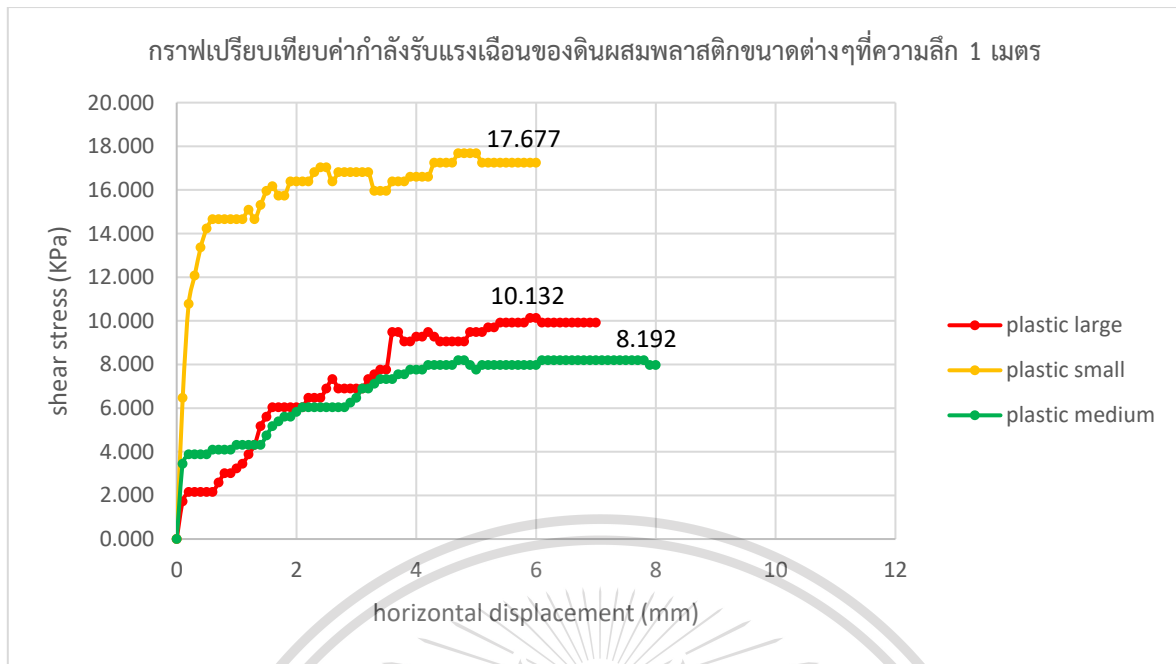
5.2.2 ขนาดของพลาสติกที่อัตราส่วน 1%โดยน้ำหนักดินแห้งที่เหมาะสมที่สุดที่ในการนำมาผสมกับดินลูกรัง

จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum shear stress (KPa) กับ Normal stress (KPa) เพื่อหาค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินผสมพลาสติกขนาดต่างๆที่ความลึก 1 เมตร

Sample	Maximum Shear stress (Kpa)			Maximum Shear stress (Seq,p) (Kpa)			Internal Friction Angle (ϕ)
	Depth (m)			Depth (m)			
	1	3	5	1	3	5	
Bar soil	7.761	27.162	62.085	7.545	27.160	62.080	37.89
soil + plastic (small size)	17.677	37.510	67.259	8.149	29.333	67.046	42.71
soil + plastic (medium size)	8.192	35.354	57.774	9.054	32.592	74.496	39.19
soil + plastic (large size)	10.132	32.336	56.049	10.563	38.024	86.912	37.93

ตารางที่ 5.1 แสดงค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle)

จากกราฟการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินผสมพลาสติกขนาดต่างๆที่ความลึก 1 เมตร พบว่าดินผสมพลาสติกขนาดเล็กให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนดีที่สุด โดยพลาสติกขนาดเล็กไปเสริมกำลังให้ดินเปล่าที่ 1 เมตรเพิ่มมา 127.78% ที่เพิ่มมา 3 เมตร 38.10% และที่ 5 เมตร เพิ่มมา 8.33% ของกำลังรับแรงของดินเปล่า เนื่องจากพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในดินได้ดีกว่า ทำให้บดอัดได้ดีกว่า และในการทดสอบการเฉือนโดยตรงพลาสติกขนาดเล็กมีการกระจายตัว เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างพลาสติกกับดิน ในขณะที่พลาสติกขนาดใหญ่กระจายตัวได้ไม่มากมีโอกาสที่จะไปเจอพลาสติกกับพลาสติกด้วยกันเองทำให้เกิดการเลื่อนไถล ส่งผลให้ค่า shear strength ของพลาสติกขนาดใหญ่มีค่าลดลง

จากตารางที่ 5.1 สังเกตได้ว่า ค่ามุมเสียดทานภายในของของดินผสมพลาสติก มีค่าเพิ่มขึ้นโดยที่พลาสติกขนาดเล็กมีค่ามุมเสียดทานมากที่สุดแต่ในทางกลับกันพลาสติกขนาดใหญ่กับมีค่ามุมเสียดทานใกล้เคียงกับดินเปล่าที่ไม่มีการผสมพลาสติก

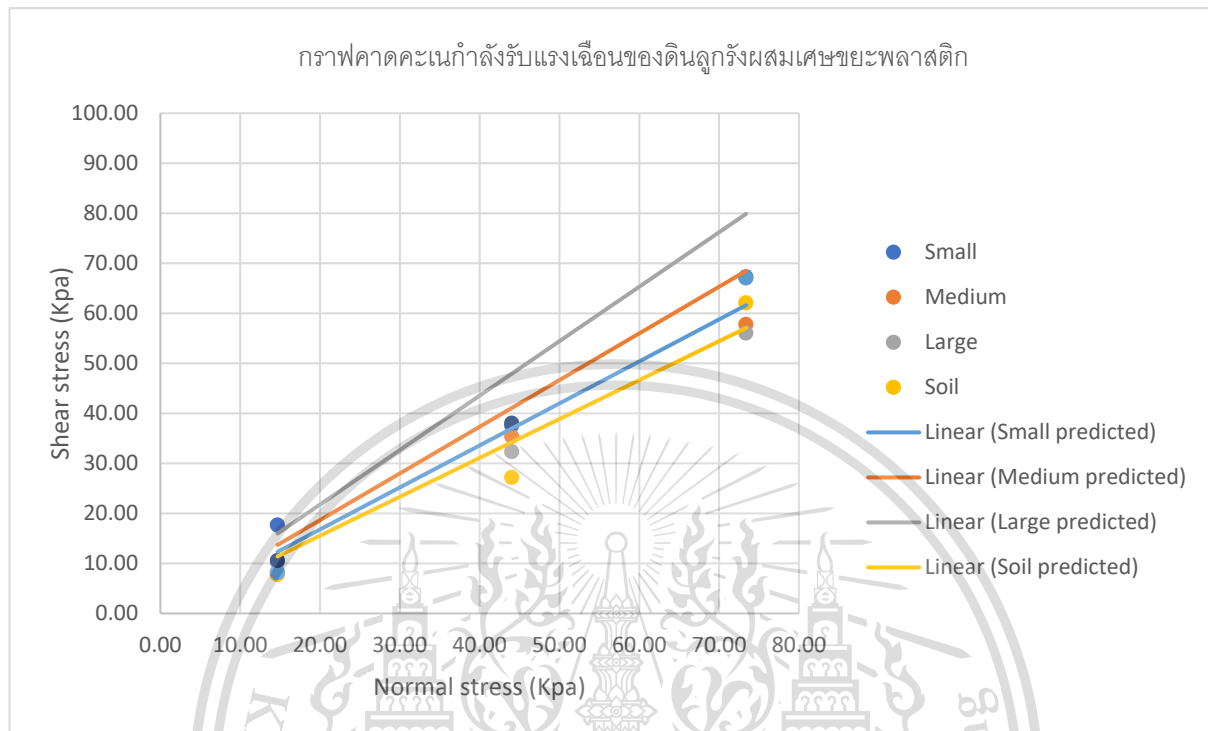
จากงานวิจัยของ Chunling Li, M.ASCE and Jorge G.Zonberg, M.ASCE ได้เสนอสมการคาดคะเนกำลังรับแรงเฉือนของดินผสมเส้นใยซึ่งการพังทลายเกิดจากเส้นใยถูกดึงออก (Fiber pullout) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$Seq,p = (1 + \alpha * \eta * \chi * c_{i,\phi}) \tan \phi * \sigma_n$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการเราสามารถสร้างเส้นคาดคะเนกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมพลาสติกที่ได้จากการทดสอบ ได้ดังนี้



รูปที่ 5.2 รูปกราฟคาดคะเนกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง

Sample	Maximum Shear stress (Kpa)			Maximum Shear stress (Seq,p) (Kpa)			Error (Kpa)
	Depth (m)			Depth (m)			
	1	3	5	1	3	5	
Bar soil	7.761	27.162	62.085	7.545	27.160	62.080	0.005
soil + plastic (small size)	17.677	37.510	67.259	8.149	29.333	67.046	0.213
soil + plastic (medium size)	8.192	35.354	57.774	9.054	32.592	74.496	16.722
soil + plastic (large size)	10.132	32.336	56.049	10.563	38.024	86.912	30.863

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบค่า Maximum shear stress (KPa) กับ Seq,p (Kpa)

จะเห็นว่าที่ กำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดเล็กที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้งที่คาดคะเนมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลการทดสอบจริงน้อยกว่าดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกขนาดกลางและขนาดใหญ่ สมการที่ใช้คาดคะเนข้างต้น กำลังรับแรงเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเปอร์เซ็นต์พลาสติก ซึ่งหมายถึงเมื่อเปอร์เซ็นต์พลาสติกเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกทดสอบที่ 1% โดยน้ำหนักดินแห้งเท่ากัน พบว่ายิ่งพลาสติกมีขนาดใหญ่ขึ้นกำลังรับแรงเฉือนที่คาดคะเนไว้มากขึ้นตามไปด้วย แต่ในการทดสอบจริงเมื่อพลาสติกมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ปริมาณช่องว่างมากขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่าลดลง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สามารถนำไปศึกษาต่อในการปรับปรุงคุณภาพของดิน

5.3.2 ใช้ Shearing rate ให้เหมาะสมกับดินแต่ละชนิด

5.3.3 เพิ่มการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

5.3.4 ทำการทดสอบ Compressibility เพื่อสังเกตการณ์ทรุดตัวของดินผสมเศษขยะพลาสติก

5.3.5 ควรแก้ไขเครื่อง Direct shear test ที่มีหลายเนื่องเครื่องมีปัญหาระหว่างการทดลอง

บ่อยครั้ง จากที่จะได้ทดสอบหลายตัวอย่างต่อ 1 ความลึกเพื่อให้มีความเชื่อถือมากยิ่งขึ้น แต่กลับต้องทำการทดลองตัวอย่างเดิมใหม่ซ้ำๆ เพราะเครื่องเกิดปัญหาระหว่างทดลอง และสิ่งที่ได้รับมาเมื่อแจ้งได้เป็นเพียงการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเท่านั้นไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาจริงๆของเครื่อง และเนื่องด้วยสถานการณ์โควิด-19 ทำให้เราไม่สามารถเข้าทำการทดลองได้ ผลที่ได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อน

5.3.6 ในการนำไปใช้งานจริง ควรทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพหรือความสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมทั้งทางบกและทางลพ รวมถึงความเสี่ยงต่างๆที่จะทำให้ระบบนิเวศเกิดการเปลี่ยนแปลงในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

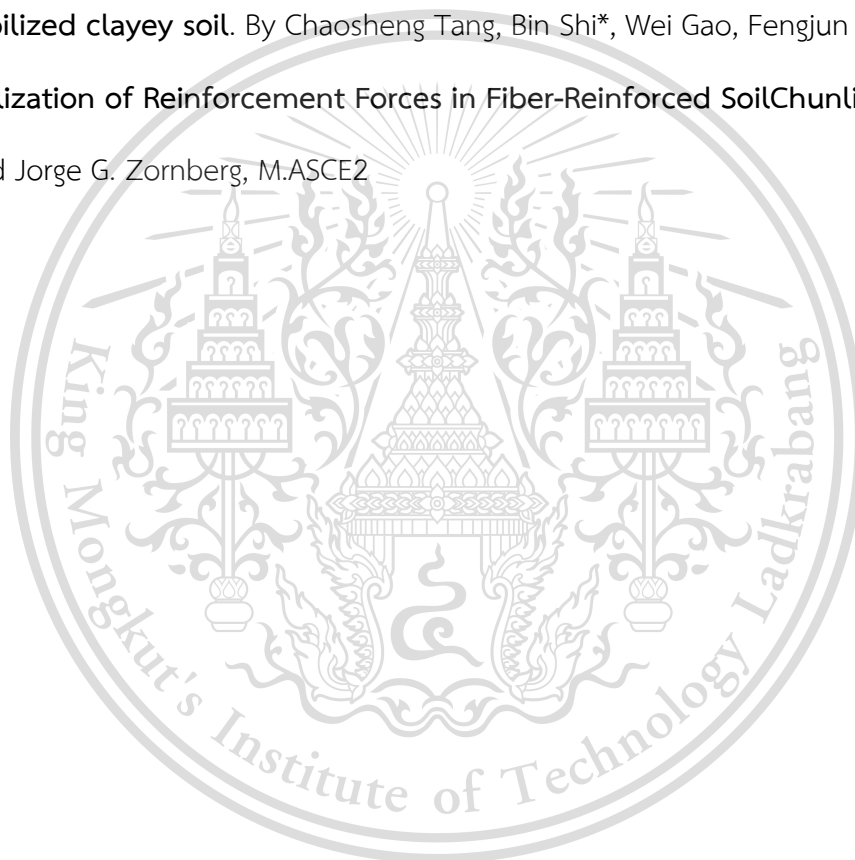
รศ.สุพจน์ ศรีนิล,รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอ.ชลธิ์ เร่บ้านเกาะ . 2560. **คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

A particulate-scale investigation of cemented sand behavior by Y.-H. Wang and S.-C. Leung

Shear Strength Improvement of Lateritic Soil Mixed With Waste Plastic Flakes

Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. By Chaosheng Tang, Bin Shi*, Wei Gao, Fengjun Chen, Yi Cai

Mobilization of Reinforcement Forces in Fiber-Reinforced Soil Chunling Li, M.ASCE1; and Jorge G. Zornberg, M.ASCE2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-1 ดินลูกรังธรรมชาติไม่ผสมพลาสติก

Horizontal displacement (mm)	Normal Displacement (mm)			Proving ring reading (Division)			Shear stress (KPa)		
	Depth(m)			Depth(m)			Depth(m)		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
0.1	0.020	0.080	0.050	8.0	26.0	24.0	3.449	11.210	10.348
0.2	0.040	0.120	0.090	9.0	32.0	35.0	3.880	13.797	15.090
0.3	0.050	0.145	0.120	9.0	38.0	41.0	3.880	16.384	17.677
0.4	0.060	0.170	0.150	9.0	41.5	45.0	3.880	17.893	19.402
0.5	0.070	0.190	0.170	9.0	43.0	51.0	3.880	18.539	21.989
0.6	0.075	0.210	0.195	9.5	44.0	54.0	4.096	18.971	23.282
0.7	0.080	0.230	0.210	9.5	46.0	60.5	4.096	19.833	26.084
0.8	0.085	0.245	0.240	9.5	49.0	64.0	4.096	21.126	27.593
0.9	0.090	0.260	0.260	9.5	53.0	68.5	4.096	22.851	29.534
1	0.100	0.275	0.280	10.0	55.0	72.0	4.311	23.713	31.043
1.1	0.100	0.290	0.290	10.0	56.5	75.0	4.311	24.360	32.336
1.2	0.100	0.300	0.310	10.0	57.0	77.5	4.311	24.575	33.414
1.3	0.100	0.310	0.320	10.0	59.0	80.5	4.311	25.438	34.707
1.4	0.105	0.320	0.330	10.0	60.5	81.0	4.311	26.084	34.923
1.5	0.105	0.330	0.345	11.0	62.5	84.0	4.743	26.947	36.216
1.6	0.110	0.340	0.355	12.0	63.0	88.0	5.174	27.162	37.941
1.7	0.110	0.345	0.365	12.5	64.0	88.0	5.389	27.593	37.941
1.8	0.110	0.350	0.375	13.0	65.0	89.0	5.605	28.025	38.372

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้ยังคงเป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.9	0.110	0.360	0.390	13.0	65.5	90.0	5.605	28.240	38.803
2	0.115	0.365	0.400	13.5	65.5	92.5	5.821	28.240	39.881
2.1	0.115	0.370	0.405	14.0	66.0	94.5	6.036	28.456	40.744
2.2	0.115	0.375	0.410	14.0	67.0	96.0	6.036	28.887	41.390
2.3	0.115	0.380	0.410	14.0	68.0	98.0	6.036	29.318	42.253
2.4	0.115	0.390	0.430	14.0	68.0	100.0	6.036	29.318	43.115
2.5	0.115	0.400	0.435	14.0	69.0	100.0	6.036	29.749	43.115
2.6	0.115	0.410	0.445	14.0	69.0	101.0	6.036	29.749	43.546
2.7	0.115	0.420	0.450	14.0	69.0	102.0	6.036	29.749	43.977
2.8	0.115	0.430	0.460	14.0	68.5	104.0	6.036	29.534	44.839
2.9	0.115	0.435	0.460	14.5	69.0	106.0	6.252	29.749	45.702
3	0.115	0.450	0.470	15.0	70.5	108.0	6.467	30.396	46.564
3.1	0.115	0.455	0.475	16.0	71.0	109.5	6.898	30.612	47.211
3.2	0.120	0.460	0.480	16.0	71.5	110.0	6.898	30.827	47.426
3.3	0.120	0.465	0.480	16.5	72.0	111.0	7.114	31.043	47.857
3.4	0.120	0.470	0.490	17.0	72.0	112.0	7.330	31.043	48.289
3.5	0.120	0.470	0.490	17.0	72.0	113.0	7.330	31.043	48.720
3.6	0.120	0.470	0.500	17.0	72.5	115.0	7.330	31.258	49.582
3.7	0.120	0.470	0.500	17.5	72.5	116.0	7.545	31.258	50.013
3.8	0.120	0.480	0.505	17.5	73.0	117.0	7.545	31.474	50.444
3.9	0.120	0.485	0.510	18.0	74.0	118.0	7.761	31.905	50.875
4	0.120	0.490	0.510	18.0	74.5	118.0	7.761	32.121	50.875
4.1	0.120	0.490	0.510	18.0	74.5	119.0	7.761	32.121	51.307
4.2	0.120	0.495	0.510	18.5	75.0	120.0	7.976	32.336	51.738

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ปฏิบัติงานที่อาคารศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3	0.120	0.495	0.510	18.5	75.0	122.0	7.976	32.336	52.600
4.4	0.120	0.500	0.510	18.5	75.0	122.0	7.976	32.336	52.600
4.5	0.120	0.500	0.510	18.5	75.0	122.0	7.976	32.336	52.600
4.6	0.120	0.500	0.510	18.5	75.0	121.5	7.976	32.336	52.385
4.7	0.120	0.505	0.510	19.0	75.0	121.5	8.192	32.767	52.385
4.8	0.120	0.505	0.510	19.0	75.0	121.0	8.192	33.198	52.169
4.9	0.120	0.510	0.510	18.5	75.0	122.5	7.976	33.414	52.816
5	0.120	0.515	0.510	18.0	76.0	123.0	7.761	33.198	53.031
5.1	0.120	0.515	0.510	18.5	77.0	125.0	7.976	33.198	53.894
5.2	0.120	0.515	0.510	18.5	77.5	127.0	7.976	33.414	54.756
5.3	0.120	0.515	0.510	18.5	77.0	128.0	7.976	33.198	55.187
5.4	0.120	0.520	0.510	18.5	77.0	128.0	7.976	33.198	55.187
5.5	0.120	0.520	0.510	18.5	77.5	128.0	7.976	33.414	55.187
5.6	0.120	0.520	0.510	18.5	78.0	128.0	7.976	33.630	55.187
5.7	0.120	0.520	0.510	18.5	79.0	128.5	7.976	34.061	55.403
5.8	0.120	0.520	0.510	18.5	79.0	129.0	7.976	34.061	55.618
5.9	0.120	0.520	0.510	18.5	80.0	131.0	7.976	34.492	56.480
6	0.120	0.520	0.510	18.5	81.0	131.0	7.976	34.923	56.480
6.1	0.120	0.520	0.510	19.0	81.0	132.5	8.192	34.923	57.127
6.2	0.120	0.520	0.510	19.0	80.5	133.0	8.192	34.707	57.343
6.3	0.120	0.520	0.510	19.0	81.0	133.0	8.192	34.923	57.343
6.4	0.120	0.520	0.510	19.0	81.0	133.0	8.192	34.923	57.343
6.5	0.120	0.525	0.510	19.0	81.5	133.0	8.192	35.139	57.343
6.6	0.120	0.525	0.510	19.0	82.0	133.0	8.192	35.354	57.343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ปฏิบัติงานที่อาคารศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.7	0.120	0.525	0.510	19.0	82.0	133.5	8.192	35.354	57.558
6.8	0.120	0.525	0.510	19.0	82.5	132.0	8.192	35.570	56.912
6.9	0.115	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7	0.115	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.1	0.115	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.2	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.3	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.4	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.5	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.6	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.7	0.110	0.520	0.510	19.0	82.0	131.0	8.192	35.354	56.480
7.8	0.110	0.520	0.510	19.0	82.0	131.0	8.192	35.354	56.480
7.9	0.110	0.520	0.510	18.5	82.0	131.0	7.976	35.354	56.480
8	0.110	0.520	0.510	18.5	82.0	131.0	7.976	35.354	56.480
8.1		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.2		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.3		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.4		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.5		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.6		0.520	0.510		82.0	130.0		35.354	56.049
8.7		0.520	0.510		82.0	130.0		35.354	56.049
8.8		0.520	0.510		82.0	130.0		35.354	56.049
8.9		0.520	0.510		82.0	129.0		35.354	55.618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-2 ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

Horizontal displacement (mm)	Normal Displacement (mm)			Proving ring reading (Division)			Shear stress (KPa)		
	Depth(m)			Depth(m)			Depth(m)		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
1	0.010	0.030	0.030	24.0	21.0	25.0	10.348	9.054	10.779
0.2	0.010	0.050	0.055	25.0	26.0	35.0	10.779	11.210	15.090
0.3	0.015	0.060	0.075	28.0	26.0	40.0	12.072	11.210	17.246
0.4	0.020	0.085	0.100	31.0	37.0	44.0	13.366	15.952	18.971
0.5	0.030	0.105	0.120	33.0	41.0	49.0	14.228	17.677	21.126
0.6	0.035	0.125	0.145	34.0	45.0	53.0	14.659	19.402	22.851
0.7	0.040	0.130	0.160	34.0	47.0	58.0	14.659	20.264	25.007
0.8	0.045	0.150	0.190	34.0	50.0	60.0	14.659	21.557	25.869
0.9	0.045	0.160	0.210	34.0	52.0	66.0	14.659	22.420	28.456
1	0.050	0.175	0.230	34.0	53.0	73.0	14.659	22.851	31.474
1.1	0.060	0.190	0.245	34.0	54.5	75.0	14.659	23.498	32.336
1.2	0.060	0.200	0.265	35.0	55.0	78.0	15.090	23.713	33.630
1.3	0.065	0.210	0.280	34.0	57.0	79.0	14.659	24.575	34.061
1.4	0.065	0.220	0.295	35.5	58.0	81.0	15.306	25.007	34.923
1.5	0.070	0.225	0.310	37.0	58.5	82.0	15.952	25.222	35.354
1.6	0.070	0.240	0.325	37.5	60.0	83.0	16.168	25.869	35.785
1.7	0.070	0.250	0.340	36.5	60.0	86.0	15.737	25.869	37.079
1.8	0.080	0.255	0.350	36.5	60.0	88.0	15.737	25.869	37.941
1.9	0.080	0.260	0.370	38.0	62.0	88.0	16.384	26.731	37.941

2	0.080	0.275	0.380	38.0	62.5	92.0	16.384	26.947	39.666
2.1	0.080	0.280	0.390	38.0	63.0	93.0	16.384	27.162	40.097
2.2	0.080	0.290	0.405	38.0	65.0	95.0	16.384	28.025	40.959
2.3	0.085	0.300	0.420	39.0	66.0	96.0	16.815	28.456	41.390
2.4	0.085	0.300	0.430	39.5	66.0	97.0	17.030	28.456	41.821
2.5	0.085	0.305	0.440	39.5	68.0	99.0	17.030	29.318	42.684
2.6	0.090	0.310	0.450	38.0	69.0	101.0	16.384	29.749	43.546
2.7	0.090	0.315	0.460	39.0	69.0	102.0	16.815	29.749	43.977
2.8	0.090	0.320	0.470	39.0	69.5	103.0	16.815	29.965	44.408
2.9	0.090	0.330	0.480	39.0	69.5	104.0	16.815	29.965	44.839
3	0.090	0.330	0.490	39.0	69.5	105.5	16.815	29.965	45.486
3.1	0.095	0.330	0.500	39.0	70.0	106.0	16.815	30.180	45.702
3.2	0.095	0.340	0.510	39.0	70.0	108.0	16.815	30.180	46.564
3.3	0.095	0.340	0.515	37.0	71.0	110.0	15.952	30.612	47.426
3.4	0.095	0.340	0.520	37.0	72.0	112.0	15.952	31.043	48.289
3.5	0.100	0.345	0.530	37.0	73.0	113.0	15.952	31.474	48.720
3.6	0.100	0.350	0.540	38.0	73.5	114.0	16.384	31.689	49.151
3.7	0.100	0.350	0.545	38.0	74.0	115.0	16.384	31.905	49.582
3.8	0.100	0.350	0.550	38.0	74.0	116.0	16.384	31.905	50.013
3.9	0.100	0.350	0.560	38.5	75.0	118.0	16.599	32.336	50.875
4	0.100	0.350	0.560	38.5	75.5	119.0	16.599	32.552	51.307
4.1	0.100	0.350	0.570	38.5	76.0	119.0	16.599	32.767	51.307
4.2	0.100	0.355	0.570	38.5	76.0	119.0	16.599	32.767	51.307
4.3	0.100	0.360	0.580	40.0	76.5	119.0	17.246	32.983	51.307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4	0.100	0.360	0.580	40.0	77.0	120.0	17.246	33.198	51.738
4.5	0.100	0.360	0.585	40.0	79.0	120.0	17.246	34.061	51.738
4.6	0.100	0.360	0.590	40.0	79.0	120.0	17.246	34.061	51.738
4.7	0.105	0.360	0.595	41.0	80.0	120.0	17.677	34.492	51.738
4.8	0.105	0.360	0.600	41.0	80.0	120.0	17.677	34.492	51.738
4.9	0.105	0.370	0.605	41.0	79.0	120.0	17.677	34.061	51.738
5	0.105	0.370	0.610	41.0	78.0	122.0	17.677	33.630	52.600
5.1	0.100	0.370	0.610	40.0	77.0	122.5	17.246	33.198	52.816
5.2	0.100	0.370	0.615	40.0	78.0	124.0	17.246	33.630	53.462
5.3	0.100	0.370	0.615	40.0	78.0	124.0	17.246	33.630	53.462
5.4	0.100	0.370	0.615	40.0	79.0	125.5	17.246	34.061	54.109
5.5	0.100	0.370	0.620	40.0	79.5	126.0	17.246	34.276	54.325
5.6	0.100	0.375	0.620	40.0	80.0	128.0	17.246	34.492	55.187
5.7	0.100	0.380	0.620	40.0	80.0	129.0	17.246	34.492	55.618
5.8	0.100	0.380	0.620	40.0	80.5	129.5	17.246	34.707	55.834
5.9	0.100	0.385	0.620	40.0	81.0	129.5	17.246	34.923	55.834
6	0.100	0.385	0.625	40.0	81.0	131.0	17.246	34.923	56.480
6.1		0.385	0.625		81.0	131.0		34.923	56.480
6.2		0.385	0.630		81.0	131.5		34.923	56.696
6.3		0.385	0.630		82.0	131.5		35.354	56.696
6.4		0.385	0.630		83.0	132.0		35.785	56.912
6.5		0.385	0.630		83.0	132.5		35.785	57.127
6.6		0.385	0.630		83.0	133.0		35.785	57.343
6.7		0.385	0.630		83.0	134.0		35.785	57.774

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.8		0.385	0.630		83.0	135.0		35.785	58.205
6.9		0.385	0.630		84.0	138.0		36.216	59.498
7		0.385	0.630		85.0	138.5		36.648	59.714
7.1		0.385	0.630		85.0	141		36.648	60.792
7.2		0.385	0.630		86.0	142		37.079	61.223
7.3		0.385	0.630		86.0	143		37.079	61.654
7.4		0.385	0.630		86.0	143		37.079	61.654
7.5		0.385	0.630		86.0	144		37.079	62.085
7.6		0.385	0.630		86.0	144		37.079	62.085
7.7		0.385	0.630		86.0	144		37.079	62.085
7.8		0.385	0.630		87.0	144		37.510	62.085
7.9		0.385	0.630		87.0	144		37.510	62.085
8		0.385	0.630		87.0	143.0		37.510	61.654
8.1		0.385	0.630		87.0	142.5		37.510	61.439
8.2		0.385	0.630		87.0	142		37.510	61.223
8.3		0.385	0.630		87.0	142		37.510	61.223
8.4		0.385	0.630		87.0	142		37.510	61.223
8.5		0.385	0.630		87.0	142		37.510	61.223
8.6		0.385	0.630		87.0	142.5		37.510	61.439
8.7			0.630			142.5			61.439
8.8			0.630			143			61.654
8.9			0.630			143			61.654
9			0.630			144			62.085
9.1			0.630			144			62.085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

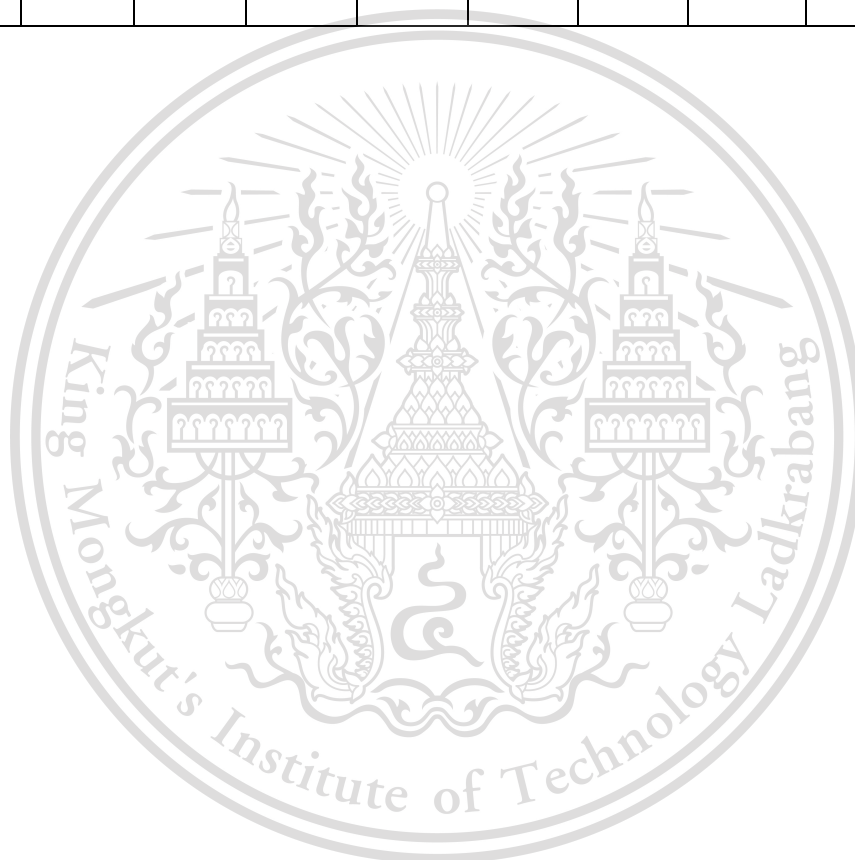
9.2			0.630			144			62.085
9.3			0.620			144			62.085
9.4			0.620			144			62.085
9.5			0.620			145			62.516
9.6			0.620			146			62.948
9.7			0.620			149			64.241
9.8			0.620			149.5			64.457
9.9			0.620			151			65.103
10			0.620			151			65.103
10.1			0.620			151			65.103
10.2			0.620			152			65.535
10.3			0.620			153			65.966
10.4			0.620			154			66.397
10.5			0.620			154			66.397
10.6			0.620			154			66.397
10.7			0.620			154			66.397
10.8			0.620			154			66.397
10.9			0.620			154			66.397
11			0.620			154			66.397
11.1			0.620			154			66.397
11.2			0.620			156			67.259
11.3			0.620			156			67.259
11.4			0.620			156			67.259
11.5			0.620			156			67.259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

11.6			0.620			156			67.259
11.7			0.620			156			67.259
11.8			0.620			156			67.259
11.9			0.620			156			67.259
12			0.620			156			67.259



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก- 3 ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดกลาง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

Horizontal displacement (mm)	Normal Displacement (mm)			Proving ring reading (Division)			Shear stress (KPa)		
	Depth(m)			Depth(m)			Depth(m)		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
0.1	0.020	0.080	0.050	8.0	26.0	24.0	3.449	11.210	10.348
0.2	0.040	0.120	0.090	9.0	32.0	35.0	3.880	13.797	15.090
0.3	0.050	0.145	0.120	9.0	38.0	41.0	3.880	16.384	17.677
0.4	0.060	0.170	0.150	9.0	41.5	45.0	3.880	17.893	19.402
0.5	0.070	0.190	0.170	9.0	43.0	51.0	3.880	18.539	21.989
0.6	0.075	0.210	0.195	9.5	44.0	54.0	4.096	18.971	23.282
0.7	0.080	0.230	0.210	9.5	46.0	60.5	4.096	19.833	26.084
0.8	0.085	0.245	0.240	9.5	49.0	64.0	4.096	21.126	27.593
0.9	0.090	0.260	0.260	9.5	53.0	68.5	4.096	22.851	29.534
1	0.100	0.275	0.280	10.0	55.0	72.0	4.311	23.713	31.043
1.1	0.100	0.290	0.290	10.0	56.5	75.0	4.311	24.360	32.336
1.2	0.100	0.300	0.310	10.0	57.0	77.5	4.311	24.575	33.414
1.3	0.100	0.310	0.320	10.0	59.0	80.5	4.311	25.438	34.707
1.4	0.105	0.320	0.330	10.0	60.5	81.0	4.311	26.084	34.923
1.5	0.105	0.330	0.345	11.0	62.5	84.0	4.743	26.947	36.216
1.6	0.110	0.340	0.355	12.0	63.0	88.0	5.174	27.162	37.941
1.7	0.110	0.345	0.365	12.5	64.0	88.0	5.389	27.593	37.941
1.8	0.110	0.350	0.375	13.0	65.0	89.0	5.605	28.025	38.372
1.9	0.110	0.360	0.390	13.0	65.5	90.0	5.605	28.240	38.803

2	0.115	0.365	0.400	13.5	65.5	92.5	5.821	28.240	39.881
2.1	0.115	0.370	0.405	14.0	66.0	94.5	6.036	28.456	40.744
2.2	0.115	0.375	0.410	14.0	67.0	96.0	6.036	28.887	41.390
2.3	0.115	0.380	0.410	14.0	68.0	98.0	6.036	29.318	42.253
2.4	0.115	0.390	0.430	14.0	68.0	100.0	6.036	29.318	43.115
2.5	0.115	0.400	0.435	14.0	69.0	100.0	6.036	29.749	43.115
2.6	0.115	0.410	0.445	14.0	69.0	101.0	6.036	29.749	43.546
2.7	0.115	0.420	0.450	14.0	69.0	102.0	6.036	29.749	43.977
2.8	0.115	0.430	0.460	14.0	68.5	104.0	6.036	29.534	44.839
2.9	0.115	0.435	0.460	14.5	69.0	106.0	6.252	29.749	45.702
3	0.115	0.450	0.470	15.0	70.5	108.0	6.467	30.396	46.564
3.1	0.115	0.455	0.475	16.0	71.0	109.5	6.898	30.612	47.211
3.2	0.120	0.460	0.480	16.0	71.5	110.0	6.898	30.827	47.426
3.3	0.120	0.465	0.480	16.5	72.0	111.0	7.114	31.043	47.857
3.4	0.120	0.470	0.490	17.0	72.0	112.0	7.330	31.043	48.289
3.5	0.120	0.470	0.490	17.0	72.0	113.0	7.330	31.043	48.720
3.6	0.120	0.470	0.500	17.0	72.5	115.0	7.330	31.258	49.582
3.7	0.120	0.470	0.500	17.5	72.5	116.0	7.545	31.258	50.013
3.8	0.120	0.480	0.505	17.5	73.0	117.0	7.545	31.474	50.444
3.9	0.120	0.485	0.510	18.0	74.0	118.0	7.761	31.905	50.875
4	0.120	0.490	0.510	18.0	74.5	118.0	7.761	32.121	50.875
4.1	0.120	0.490	0.510	18.0	74.5	119.0	7.761	32.121	51.307
4.2	0.120	0.495	0.510	18.5	75.0	120.0	7.976	32.336	51.738
4.3	0.120	0.495	0.510	18.5	75.0	122.0	7.976	32.336	52.600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4	0.120	0.500	0.510	18.5	75.0	122.0	7.976	32.336	52.600
4.5	0.120	0.500	0.510	18.5	75.0	122.0	7.976	32.336	52.600
4.6	0.120	0.500	0.510	18.5	75.0	121.5	7.976	32.336	52.385
4.7	0.120	0.505	0.510	19.0	75.0	121.5	8.192	32.767	52.385
4.8	0.120	0.505	0.510	19.0	75.0	121.0	8.192	33.198	52.169
4.9	0.120	0.510	0.510	18.5	75.0	122.5	7.976	33.414	52.816
5	0.120	0.515	0.510	18.0	76.0	123.0	7.761	33.198	53.031
5.1	0.120	0.515	0.510	18.5	77.0	125.0	7.976	33.198	53.894
5.2	0.120	0.515	0.510	18.5	77.5	127.0	7.976	33.414	54.756
5.3	0.120	0.515	0.510	18.5	77.0	128.0	7.976	33.198	55.187
5.4	0.120	0.520	0.50	18.5	77.0	128.0	7.976	33.198	55.187
5.5	0.120	0.520	0.510	18.5	77.5	128.0	7.976	33.414	55.187
5.6	0.120	0.520	0.510	18.5	78.0	128.0	7.976	33.630	55.187
5.7	0.120	0.520	0.510	18.5	79.0	128.5	7.976	34.061	55.403
5.8	0.120	0.520	0.510	18.5	79.0	129.0	7.976	34.061	55.618
5.9	0.120	0.520	0.510	18.5	80.0	131.0	7.976	34.492	56.480
6	0.120	0.520	0.510	18.5	81.0	131.0	7.976	34.923	56.480
6.1	0.120	0.520	0.510	19.0	81.0	132.5	8.192	34.923	57.127
6.2	0.120	0.520	0.510	19.0	80.5	133.0	8.192	34.707	57.343
6.3	0.120	0.520	0.510	19.0	81.0	133.0	8.192	34.923	57.343
6.4	0.120	0.520	0.510	19.0	81.0	133.0	8.192	34.923	57.343
6.5	0.120	0.525	0.510	19.0	81.5	133.0	8.192	35.139	57.343
6.6	0.120	0.525	0.510	19.0	82.0	133.0	8.192	35.354	57.343
6.7	0.120	0.525	0.510	19.0	82.0	133.5	8.192	35.354	57.558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.8	0.120	0.525	0.510	19.0	82.5	132.0	8.192	35.570	56.912
6.9	0.115	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7	0.115	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.1	0.115	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.2	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.3	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.4	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.5	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.6	0.110	0.525	0.510	19.0	82.0	132.0	8.192	35.354	56.912
7.7	0.110	0.520	0.510	19.0	82.0	131.0	8.192	35.354	56.480
7.8	0.110	0.520	0.510	19.0	82.0	131.0	8.192	35.354	56.480
7.9	0.110	0.520	0.510	18.5	82.0	131.0	7.976	35.354	56.480
8	0.110	0.520	0.510	18.5	82.0	131.0	7.976	35.354	56.480
8.1		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.2		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.3		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.4		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.5		0.520	0.510		82.0	131.0		35.354	56.480
8.6		0.520	0.510		82.0	130.0		35.354	56.049
8.7		0.520	0.510		82.0	130.0		35.354	56.049
8.8		0.520	0.510		82.0	130.0		35.354	56.049
8.9		0.520	0.510		82.0	129.0		35.354	55.618
9		0.520	0.510		82.0	129.0		35.354	55.618
9.1			0.510			129.0			55.618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9.2			0.510			129.0			55.618
9.3			0.510			130.0			56.049
9.4			0.510			131.0			56.480
9.5			0.510			132.0			56.912
9.6			0.510			132.5			57.127
9.7			0.510			133.0			57.343
9.8			0.510			133.0			57.343
9.9			0.510			133.5			57.558
10			0.510			134.0			57.774
10.1			0.515			124.0			53.462
10.2			0.515			123.0			53.031
10.3			0.520			124.0			53.462
10.4			0.520			126.0			54.325
10.5			0.520			127.0			54.756
10.6			0.520			127.0			54.756
10.7			0.520			128.0			55.187
10.8			0.520			128.0			55.187
10.9			0.520			128.0			55.187
11			0.520			128.0			55.187
11.1			0.520			128.0			55.187
11.2			0.525			128.0			55.187
11.3			0.525			128.0			55.187
11.4			0.525			128.0			55.187
11.5			0.525			128.0			55.187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

11.6			0.530			128.0			55.187
11.7			0.530			128.0			55.187
11.8			0.530			128.0			55.187
11.9			0.530			128.0			55.187
12			0.530			128.0			55.187



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ก- 4 ดินลูกรังผสมพลาสติกขนาดใหญ่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

Horizontal displacement (mm)	Normal Displacement (mm)			Proving ring reading (Division)			Shear stress (KPa)		
	Depth(m)			Depth(m)			Depth(m)		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
0.1	0.020	0.055	0.045	4.0	23.0	37.0	1.725	9.916	15.952
0.2	0.050	0.080	0.060	5.0	29.0	45.0	2.156	12.503	19.402
0.3	0.080	0.100	0.090	5.0	32.0	48.5	2.156	13.797	20.911
0.4	0.100	0.120	0.115	5.0	36.0	51.5	2.156	15.521	22.204
0.5	0.100	0.150	0.135	5.0	36.0	60.0	2.156	15.521	25.869
0.6	0.110	0.180	0.155	5.0	37.0	62.0	2.156	15.952	26.731
0.7	0.130	0.205	0.175	6.0	38.0	64.0	2.587	16.384	27.593
0.8	0.140	0.230	0.185	7.0	39.0	65.5	3.018	16.815	28.240
0.9	0.150	0.250	0.200	7.0	40.0	71.0	3.018	17.246	30.612
1	0.160	0.270	0.210	7.5	40.0	73.5	3.234	17.246	31.689
1.1	0.170	0.290	0.225	8.0	42.0	75.0	3.449	18.108	32.336
1.2	0.170	0.310	0.240	9.0	44.0	75.0	3.880	18.971	32.336
1.3	0.190	0.325	0.260	10.0	46.0	78.0	4.311	19.833	33.630
1.4	0.210	0.340	0.275	12.0	47.0	80.0	5.174	20.264	34.492
1.5	0.215	0.350	0.285	13.0	48.0	82.0	5.605	20.695	35.354
1.6	0.220	0.360	0.290	14.0	48.5	84.5	6.036	20.911	36.432
1.7	0.220	0.375	0.310	14.0	50.0	87.0	6.036	21.557	37.510
1.8	0.230	0.385	0.320	14.0	51.0	88.0	6.036	21.989	37.941
1.9	0.230	0.400	0.330	14.0	52.0	89.0	6.036	22.420	38.372

2	0.240	0.405	0.335	14.0	53.0	90.5	6.036	22.851	39.019
2.1	0.245	0.415	0.340	14.0	53.5	91.0	6.036	23.066	39.234
2.2	0.250	0.420	0.350	15.0	54.0	92.0	6.467	23.282	39.666
2.3	0.250	0.430	0.355	15.0	55.0	93.0	6.467	23.713	40.097
2.4	0.250	0.430	0.360	15.0	55.0	93.0	6.467	23.713	40.097
2.5	0.250	0.445	0.365	16.0	55.0	94.0	6.898	23.713	40.528
2.6	0.250	0.450	0.370	17.0	55.5	94.5	7.330	23.929	40.744
2.7	0.250	0.460	0.375	16.0	57.0	95.0	6.898	24.575	40.959
2.8	0.250	0.460	0.380	16.0	57.5	95.0	6.898	24.791	40.959
2.9	0.250	0.465	0.385	16.0	58.0	97.0	6.898	25.007	41.821
3	0.250	0.470	0.390	16.0	58.5	100.0	6.898	25.222	43.115
3.1	0.250	0.475	0.395	16.0	59.0	101.0	6.898	25.438	43.546
3.2	0.250	0.480	0.395	17.0	59.0	102.0	7.330	25.438	43.977
3.3	0.250	0.480	0.400	17.5	59.0	104.0	7.545	25.438	44.839
3.4	0.250	0.490	0.400	18.0	59.5	106.0	7.761	25.653	45.702
3.5	0.250	0.490	0.405	18.0	60.0	107.0	7.761	25.869	46.133
3.6	0.250	0.495	0.410	22.0	60.0	107.0	9.485	25.869	46.133
3.7	0.250	0.500	0.415	22.0	60.5	108.0	9.485	26.084	46.564
3.8	0.250	0.500	0.415	21.0	61.0	109.0	9.054	26.300	46.995
3.9	0.260	0.500	0.420	21.0	61.5	110.0	9.054	26.516	47.426
4	0.260	0.505	0.420	21.5	62.0	110.0	9.270	26.731	47.426
4.1	0.270	0.510	0.420	21.5	62.5	111.0	9.270	26.947	47.857
4.2	0.270	0.510	0.420	22.0	62.5	112.0	9.485	26.947	48.289
4.3	0.270	0.510	0.425	21.5	63.0	113.0	9.270	27.162	48.720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4	0.270	0.515	0.425	21.0	62.5	114.0	9.054	26.947	49.151
4.5	0.270	0.520	0.425	21.0	63.0	114.0	9.054	27.162	49.151
4.6	0.270	0.525	0.425	21.0	63.0	115.0	9.054	27.162	49.582
4.7	0.270	0.525	0.425	21.0	63.5	116.0	9.054	27.378	50.013
4.8	0.270	0.530	0.425	21.0	64.0	116.5	9.054	27.593	50.229
4.9	0.275	0.530	0.425	22.0	64.0	117.0	9.485	27.593	50.444
5	0.285	0.535	0.425	22.0	64.5	117.0	9.485	27.809	50.444
5.1	0.290	0.540	0.425	22.0	65.0	118.0	9.485	28.025	50.875
5.2	0.290	0.540	0.425	22.5	65.0	119.0	9.701	28.025	51.307
5.3	0.290	0.545	0.425	22.5	65.0	120.0	9.701	28.025	51.738
5.4	0.290	0.545	0.425	23.0	65.5	122.0	9.916	28.240	52.600
5.5	0.290	0.550	0.425	23.0	66.0	122.0	9.916	28.456	52.600
5.6	0.290	0.550	0.425	23.0	66.0	122.5	9.916	28.456	52.816
5.7	0.290	0.550	0.420	23.0	67.0	123.0	9.916	28.887	53.031
5.8	0.290	0.550	0.420	23.0	67.0	124.0	9.916	28.887	53.462
5.9	0.290	0.550	0.420	23.5	67.5	124.5	10.132	29.103	53.678
6	0.290	0.555	0.420	23.5	67.5	124.5	10.132	29.103	53.678
6.1	0.290	0.555	0.420	23.0	68.0	125.0	9.916	29.318	53.894
6.2	0.290	0.560	0.420	23.0	68.0	125.0	9.916	29.318	53.894
6.3	0.290	0.560	0.420	23.0	68.5	126.0	9.916	29.534	54.325
6.4	0.290	0.560	0.420	23.0	69.0	126.0	9.916	29.749	54.325
6.5	0.290	0.560	0.420	23.0	69.0	126.0	9.916	29.749	54.325
6.6	0.290	0.565	0.420	23.0	69.5	127.0	9.916	29.965	54.756
6.7	0.290	0.565	0.420	23.0	70.0	127.0	9.916	30.180	54.756

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

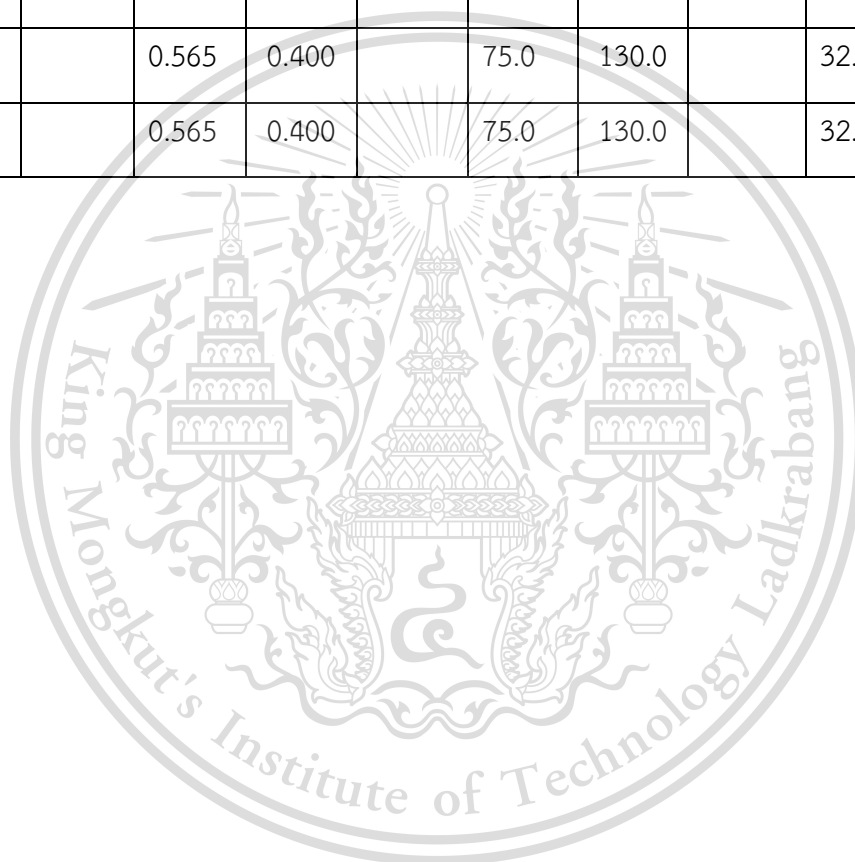
6.8	0.290	0.570	0.420	23.0	70.0	127.5	9.916	30.180	54.971
6.9	0.290	0.570	0.420	23.0	70.5	127.5	9.916	30.396	54.971
7	0.290	0.570	0.420	23.0	71.0	127.5	9.916	30.612	54.971
7.1		0.570	0.420		71.0	127.5		30.612	54.971
7.2		0.570	0.420		71.5	127.5		30.827	54.971
7.3		0.570	0.420		72.0	127.0		31.043	54.756
7.4		0.570	0.420		72.0	127.0		31.043	54.756
7.5		0.570	0.415		72.5	127.0		31.258	54.756
7.6		0.570	0.415		72.5	127.5		31.258	54.971
7.7		0.570	0.415		73.0	128.0		31.474	55.187
7.8		0.570	0.410		73.0	128.0		31.474	55.187
7.9		0.570	0.410		73.5	128.0		31.689	55.187
8		0.570	0.410		73.5	128.0		31.689	55.187
8.1		0.570	0.410		74.0	127.5		31.905	54.971
8.2		0.570	0.410		74.0	127.5		31.905	54.971
8.3		0.570	0.410		74.0	128.0		31.905	55.187
8.4		0.570	0.410		74.0	128.0		31.905	55.187
8.5		0.570	0.410		74.5	128.0		32.121	55.187
8.6		0.570	0.410		74.5	129.0		32.121	55.618
8.7		0.570	0.410		75.0	130.0		32.336	56.049
8.8		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
8.9		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.1		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9.2		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.3		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.4		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.5		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.6		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.7		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.8		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
9.9		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049
10		0.565	0.400		75.0	130.0		32.336	56.049



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข-1 ตารางคาดคะเนกำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังผสมพลาสติก

Plastic Size	Depth (m)	σ_n (KPa)	α	n	χ	C_i, ϕ	ϕ	$\tan\phi$	S(KPa)
Small	1	14.68	1.00	10	0.01	0.8	37.58	0.769	15.562
	3	44.03	1.00	10	0.01	0.8	37.58	0.769	46.687
	5	73.38	1.00	10	0.01	0.8	37.58	0.769	77.811
Medium	1	14.68	1.00	25	0.01	0.8	37.58	0.769	16.892
	3	44.03	1.00	25	0.01	0.8	37.58	0.769	50.675
	5	73.38	1.00	25	0.01	0.8	37.58	0.769	84.459
Large	1	14.68	1.00	50	0.01	0.8	37.58	0.769	19.108
	3	44.03	1.00	50	0.01	0.8	37.58	0.769	57.324
	5	73.38	1.00	50	0.01	0.8	37.58	0.769	95.539

หมายเหตุ $Seq,p = (1 + \alpha \cdot \eta \cdot \chi \cdot c_{i,c}) \cdot c + (1 + \alpha \cdot \eta \cdot \chi \cdot c_{i,\phi}) \sigma$

เมื่อ Seq,p = กำลังรับแรงเฉือน

σ_n = ความเค้นปกติเฉลี่ยที่กระทำต่อเส้นใย

C = ค่าความเชื่อมั่นของดิน

$C_{i,c}$ = ค่าความเชื่อมั่นของเส้นใย (a) / ค่าความเชื่อมั่นของดิน (C)

$C_{i,\phi}$ = (ค่าองค์ประกอบความเสียดทาน) = $\tan(\text{มุมเสียดทานของเส้นใย}) / \tan(\text{มุมเสียดทานของดิน})$

α = ค่าสัมประสิทธิ์เชิงประจักษ์ที่ใช้อธิบายการวางตัวของเส้นใย = 1

n = ความยาวของเส้นใยเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

χ = น้ำหนักของเส้นใยน้ำหนักของดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.