

พฤติกรรมของแรงดันน้ำในดินอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทราย

นายธนากร นาเชียงใต้



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-057-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PORE WATER PRESSURE BEHAVIOR IN SANDSTABILIZED SOFT SOIL

Mr. Thanakon Nachientai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

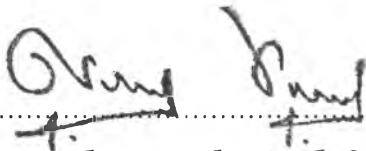
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

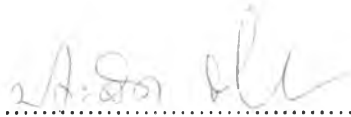
ISBN 974-332-057-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : พฤติกรรมของแรงดันน้ำในดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทราย
โดย : นายธนากร นาเชียงใต้ รหัสประจำตัว C815283
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุรพล จิวาลักษณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. สุรฉัตร ลัมพันธ์รักษ์

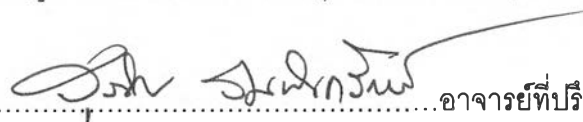
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

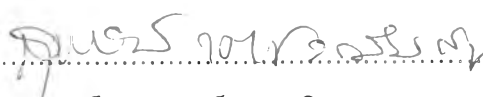
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประจิต จิรัปปากา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร ลัมพันธ์รักษ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงษ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

ธนากร นาเซียงใต้ : พฤติกรรมแรงดันน้ำในดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทราย (PORE WATER PRESSURE BEHAVIOUR IN SANDSTABILIZED SOFT SOIL) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สุรพล จิวาลักษณ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ ; 105 หน้า. ISBN 974-332-057-1.

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวกรุงเทพฯ ด้วยการใช้ทรายเป็นสารผสมเพิ่ม เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของหน่วยแรง, ความเครียด และแรงดันน้ำ จากการทดสอบแบบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาและควบคุมคือ

1. ปัจจัยของปริมาณของสารผสมเพิ่ม (ทราย) ที่ 0% ,20% ,40% ,60% โดยน้ำหนัก
2. ปัจจัยของระดับความดันอัดตัวคายน้ำ
3. ปัจจัยของพฤติกรรมของหน่วยแรง, ความเครียด และแรงดันน้ำ

ในการทดสอบทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการบดอัดดินผสม โดยวิธีการอัดตัวอย่างทดสอบแบบ static compression ที่จุด maximum dry density และ optimum moisture content ตามกราฟที่ได้จากการบดอัดแบบมาตรฐาน ในแต่ละชุดของดินผสม ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ maximum dry density เพิ่มขึ้นและทำให้ optimum moisture content ลดลง โดยในการทดสอบนี้ได้ใช้ double suction เพื่อช่วยในการทำให้ตัวอย่างทดสอบอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated) จนได้ค่าดีกรีของการอิ่มตัวด้วยน้ำประมาณ 95%-100% ทำการทดสอบการรับแรงเฉือนโดยการทดสอบแบบ Consolidated Undrain และใช้ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 15, 45, 60, 90 ปอนด์/นิ้ว² ในการอัดตัวคายน้ำก่อนทำการรับแรงเฉือน

หลังจากการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น มีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นและทำให้แรงดันน้ำส่วนเกิน (excess pore pressure) ลดลง โดยที่ปริมาณทรายน้อยกว่า 40% การปรับปรุงคุณภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของแรงดันน้ำน้อยมาก ทำให้กำลังรับแรงเฉือน (shear strength) ไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อปริมาณทรายตั้งแต่ 40% เป็นต้นไปจะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน คือมีผลทำให้เกิดพฤติกรรมของการพองตัว (Dilatation) ของทรายแน่น (Dense Sand) ซึ่งเกิดขึ้นจากผลของการบดอัดและความดันอัดตัวคายน้ำประสิทธิผล มีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนที่จุด yield เพิ่มขึ้น 1.8 ถึง 3.7 เท่าของดินเหนียวบดอัด เมื่อปริมาณทรายตั้งแต่ 40% ขึ้นไป

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C815283 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: PORE WATER PRESSURE / SANDSTABILIZED / STABILIZED SOFT SOIL

THANAKON NACHIENGTAI : PORE WATER PRESSURE BEHAVIOUR IN SANDSTABILIZED SOFT SOIL.

THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURAPHOL CHIVALAK , Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF.

SURACHAT SAMBHANDHARAKSA , D.Sc. 105 pp. ISBN 974-332-057-1.

The efficiency of the strength improvement and the stress, strain, strength and pore pressure behaviour of the compacted clay, mixing with sand were studied. The factors being investigated were

1. the factor of sand content (0%,20%,40% and 60% by weight);
2. the factor of the effective consolidation stress.;and
3. the stress, strain, strength and pore pressure behaviour.

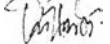
For studying these factors, the standard proctor test was firstly carried out to identify the maximum dry density and optimum moisture content for each sand content. The maximum dry density was found to increase with the percentage of sand in the dry side and almost insignificant on the wet side. While as the reduction of the optimum moisture content was observed with the increased in sand content. The static compacted samples were prepared at the corresponding standard dynamic proctor density maximum density and optimum moisture content, for every test. Double suction method was adopted to increased the degree of saturation of the sample which the B-value of all samples were between 95-100%. Isotropically consolidated undrained triaxial tests were performed at each percentage of sand, at several effective confining stresses of 15, 45, 60, and 90 psi. were applied prior to shearing.

It was found that the effect of sand content when the sand content was less than 40%, the improvement in strength and the change in excess pore water pressure characteristics were minor. However, considerably increase in strength of mixed sample, as well as the decreased in excess pore water pressure, were observed, when the sand content increased beyond 40%, resulting from the dilatation, behaviour of the very dense sand which occurs, as the result of the compaction and the magnitude of effective consolidation stress. The gained in shear strength at yield point about 1.8 to 2.6 time, when the sand content is about 40%.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ



๑

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความช่วยเหลือดีเยี่ยมของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม, ดร.สุพจน์ เตชะวรสินสกุลและอาจารย์ทุกท่าน ซึ่งท่านให้ความแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการวิจัยและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนทราบซึ่งในความกรุณาของท่านอาจารย์เป็นอย่างยิ่งและขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน

ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา ครู อาจารย์เป็นผู้มีอุปการะคุณต่อผู้เขียนจนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

การทดสอบนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณครูปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง

นายธนากร นาเที่ยงได้

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่	

1. บทนำ

1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย.....	4

2. ทฤษฎีบทและทบทวนงานในอดีต.....

2.1 หลักการของความเค้นประสิทธิผล.....	5
2.1.1 Undrained Shear Strength.....	5
2.2 กำลัรับแรงเฉือนแบบอันเดรอนในรูปของหน่วยแรง (ความเค้น) ประสิทธิผล.....	7
2.3 ตัวแปรแรงดันน้ำ (Pore Pressure Parameter).....	7
2.4 ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Paths).....	10
2.4.1 ผลของ stress history ต่อทางเดินของหน่วยแรง (Effect of Stress History on Stress Paths).....	13
2.4.2 ทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลสำหรับการ ทดสอบ ชนิดต่าง ๆ (Stress Paths for Different Types of Tests).....	14
2.5 การกำหนดจุดวิบัติในการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial).....	19

บทที่	หน้า
2.6 ทฤษฎีของการบดอัด.....	20
2.6.1 ทฤษฎีของ Lambe (1960).....	20
2.6.2 ทฤษฎีที่ใช้อธิบายโดยหน่วยแรงประสิทธิผล.....	20
2.7 พฤติกรรมทางด้านหน่วยแรง-ความเครียด, ความดันน้ำที่เพิ่มขึ้น, กำลังรับ น้ำหนักประสิทธิผลและการจัดเรียงตัวของอนุภาคในดินเหนียวที่ถูกบดอัด.....	21
2.7.1 ผลของความชื้นและวิธีการบดอัดที่มีผลต่อดินเหนียวบดอัด.....	21
3. วิธีการวิจัยและวิธีการทดสอบ.....	26
3.1 ลักษณะทั่วไปและชั้นดินกรุงเทพฯ.....	26
3.2 สถานที่และการเก็บตัวอย่างทดสอบ.....	27
3.2.1 ดินเหนียว.....	27
3.2.2 ททราย.....	27
3.3 การเตรียมตัวอย่าง.....	27
3.4 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	30
3.5 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบสำหรับตัวอย่างที่ทำการทดสอบ CIUC.....	31
4. ผลการทดสอบ.....	36
4.1 หลักการและการวิเคราะห์และคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของวัสดุที่ใช้.....	36
4.1.1 ผลการทดสอบของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	36
4.2 ผลกระทบของปริมาณททรายและ σ_c' ที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างหน่วย แรงเบี่ยงเบน(deviator stress) กับความเครียดตามแนวแกน (axial strain).....	42
4.2.1 ผลกระทบของปริมาณททรายเมื่อ σ_c' มีค่าคงที่.....	42
4.2.2 ผลของขนาดของ σ_c' เมื่อเปอร์เซ็นต์ททรายคงที่.....	47
4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมแรงดันน้ำ (pore pressure) และค่า Skempton A parameter กับความเครียด (strain) เมื่อปริมาณสารผสมเพิ่ม (ททราย) เพิ่ม ขึ้น.....	57
4.3.1 แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้น (excess pore pressure) กับความเครียด ตามแนวแกน (axial strain).....	57

บทที่	หน้า
(ก) ผลของปริมาณทรายต่อค่า ΔU เปรียบเทียบที่ σ_c' เดียวกัน.....	52
(ข) ผลกระทบของ σ_c' ต่อ ΔU_{max} เมื่อปริมาณทรายเท่ากัน.....	62
(ค) ผลของปริมาณทรายที่มีผลต่อแรงดันน้ำส่วนเกิน (Δu) ที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$	69
4.3.2 พารามิเตอร์ เอ (A parameter) กับความเครียดตามแนวแกน (axial strain)	69
(ก) ผลกระทบของขนาดของแรงดันอัดตัวคายน้ำ (σ_c') ที่มีผลต่อค่า A.....	69
(ข) ผลกระทบของปริมาณทรายที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ เอ (A parameter).....	75
4.4 ผลกระทบของปริมาณทรายและค่า σ_c' ต่อทางเดินหน่วยแรงประสิทธิผล.....	80
4.4 ผลกระทบของปริมาณทรายในเส้นขอบเขตการวิบัติกำหนดขึ้นที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$	86
4.6 ผลกระทบของปริมาณทรายและขนาดของแรงดันอัดตัวคายน้ำ (σ_c') ต่อ secant โมดูลัสแบบไม่ระบายน้ำ ที่ 50% ของระดับหน่วยแรงเฉือนที่ yield point	87
5. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอนะ.....	97
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	97
5.2 ข้อเสนอนะ.....	98
รายการอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก ก ผลของอัตราความเครียดต่อการวัด ($\sigma_1-\sigma_3$) และ ΔU จาก การทดสอบ CIUC.....	101
ประวัติผู้เขียน.....	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	แสดงค่า γ_{Dmax} และ optimum water content ในการบดอัด.....	40
4.2	แสดงความชื้นและความหนาแน่น ก่อนและหลังการทดสอบ ที่ปริมาณทรายและความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆกัน.....	41
4.3	Summary ของข้อมูลประกอบด้วย E_u , ϕ' , C' , ϵ_r ที่จุด yield point และค่า ϕ' , C' ที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ ตลอดจนค่า E_{u50}	48
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔU_r , A_r กับ %ทราย และค่า σ_c'	49
4.5	ผลกระทบของปริมาณทรายต่อค่า ϵ_r , A_r , q_r ที่จุด yield point และค่าที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ โดยมี σ_c' อันเดียวกัน.....	50
4.6	ตารางแสดงค่า a และมุม α ของ Total Shear Strength Envelope เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น.....	95
4.7	ตารางแสดงค่า a และมุม α ของ Effective Shear Strength Envelope เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น.....	95
4.8	ผลกระทบของปริมาณทรายต่อค่า E_u ที่ $\sigma_c'=90$ psi.....	96

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงความสัมพันธ์ Mohr-Coulomb Envelope และ $p - q$ (Effective Shear Strength Envelope).....	12
2.2	แสดงแบบต่างๆของทางเดินของความเค้นประสิทธิผลตามชนิดของดินซึ่งเปรียบเทียบกันโดยใช้ทางเดินของความเค้นรวม (Total Stress Paths) ของการทดสอบ Consolidated Isotropically Compression Undrained...	15
2.3	ทางเดินความเค้นรวมและความเค้นประสิทธิผล ของการทดสอบไตรแอกเซียลแบบอันเดรน โดยคอนโซลิเดทแบบ Isotropic แล้วกดตัวอย่างโดยห้ความดันเซลคงที่.....	17
2.4	ลักษณะต่างๆของทางเดินความเค้นรวมจากการทดสอบไตรแอกเซียลแบบอันเดรนโดยที่ ก. $\sigma_v = \sigma_h$ ข. $\sigma_v > \sigma_h > 0$	17
2.5	ลักษณะต่างๆของทางเดินความเค้นรวม เมื่อ $\sigma_v = \sigma_h = 0$	18
2.6	Theory for Undrained Shear Strating from K_0 of Condition.....	18
2.7	กราฟแสดงผลของความชื้นที่มีผลต่อการจัดเรียงอนุภาค (structure) พฤติกรรมทางด้านกำลังรับน้ำหนัก ในการทดสอบ Consolidated-Undrained Test ของดิน Silty Clay.....	23
2.8	ผลของความชื้น (molding water content) ในกราฟการบดอัดต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคของดินเหนียวบดอัดของดิน Boston Blue Clay.....	24
2.9	ผลของวิธีการบดอัด (Method of Compaction) ที่มีต่อกำลังรับน้ำหนัก (Strength) และการหดตัว (Shrinkage) ในดิน Silty Clay	25
3.1	รูปแสดงสถานที่เก็บตัวอย่างดินทดสอบ ที่บริเวณถนนพหลโยธิน.....	28
3.2	รูปแสดงบริเวณภายในสนาม ที่เก็บตัวอย่างดินทดสอบ.....	29
4.1	กราฟแสดงการกระจายตัวของทราย ที่ใช้เป็นสารผสมเพิ่ม.....	37
4.2	กราฟแสดงผลการบดอัดระหว่าง ความหนาแน่นแห้ง กับ ความชื้นของดินผสมที่ปริมาณทรายต่าง.....	39

บทที่	หน้า
4.3 กราฟแสดงค่าเค้นเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัด ตัวคายน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	43
4.4 กราฟแสดงค่าเค้นเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัด ตัวคายน้ำ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	44
4.5 กราฟแสดงค่าเค้นเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัด ตัวคายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	45
4.6 กราฟแสดงค่าเค้นเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัด ตัวคายน้ำ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	46
4.7 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน ที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณ ทรายเพิ่มขึ้น.....	51
4.8 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของ ดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	53
4.9 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของ ดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	54
4.10 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของดิน ผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	55
4.11 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของดิน ผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	56
4.12 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความ ดันอัดตัวคายน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	58
4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความ ดันอัดตัวคายน้ำ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	59
4.14 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดัน อัดตัวคายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	60

บทที่	หน้า
4.15 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดัน อัดตัวคายน้ำ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	61
4.16 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100%ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	64
4.17 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	65
4.18 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	66
4.19 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	67
4.20 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน ที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณ ทรายเพิ่มขึ้น.....	68
4.21 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100%ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	71
4.22 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	72
4.23 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	73
4.24 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	74
4.25 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณ สารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	76
4.26 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณ สารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	77

บทที่	หน้า
4.27 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณ สารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	78
4.28 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณ สารผสมเพิ่ม(ทราย) ต่างๆ.....	79
4.29 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ ที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น.....	81
4.30 กราฟแสดงค่า $\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100%ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	82
4.31 กราฟแสดงค่า $\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	83
4.32 กราฟแสดงค่า $\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	84
4.33 กราฟแสดงค่า $\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	85
4.34 กราฟแสดงค่า (σ_1'/σ_3') กับความเครียดตามแนวแกนของดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	88
4.35 กราฟแสดงค่า (σ_1'/σ_3') กับความเครียดตามแนวแกนของดินผสมที่ ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	89
4.36 กราฟแสดงค่า (σ_1'/σ_3') กับความเครียดตามแนวแกนของดินผสมที่ ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	90
4.37 กราฟแสดงค่า (σ_1'/σ_3') กับความเครียดตามแนวแกนของดินผสมที่ ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ.....	91
4.38 กราฟแสดงค่า $\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ ที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณทราย เพิ่มขึ้น.....	92
4.39 กราฟ p_r และ q_r แสดงค่า Total Shear Strength Envelope ที่ปริมาณทรายต่างๆ.....	93

บทที่		หน้า
4.40	กราฟ p_r และ q_r แสดงค่า Effective Shear Strength Envelope ที่ปริมาณทรายต่างๆ.....	94
ก 1	กราฟแสดงผลของอัตราการเจือปนที่มีต่อค่า deviator stress เมื่อความเครียดตามแนวแกนเพิ่มขึ้น.....	102
ก 2	กราฟแสดงผลของอัตราการเจือปนที่มีต่อค่า excess pore pressure เมื่อความเครียดตามแนวแกนเพิ่มขึ้น.....	103
ก 3	กราฟแสดงผลของอัตราการเจือปนที่มีต่อค่า p และ q'	104

สัญลักษณ์และคำย่อ

CIUC	=	Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test
a	=	หน่วยแรงยึดหน่วงประสิทธิผล ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะตัดของเส้นเอนเวล ลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ \bar{p} และ q บนแกนตั้ง (q)
A	=	พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดิน (pore pressure parameter)
B	=	พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดิน (pore pressure parameter)
C	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (effective cohesion intercept)
C_u	=	Cohesion Intercept
C_c	=	ค่าความสามารถในการยุบตัวของดิน (compressibility of the soil skeleton)
C_v	=	ค่าความสามารถในการยุบตัวของของเหลวในโพรง (compressibility of the pore fluid)
K	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้าง (Coefficient of Lateral Stress)
K_f	=	Coefficient of Earth Pressure at Failure
K_0	=	Coefficient of Earth Pressure at Rest
n	=	ค่าความพรุนของดิน (porosity of the soil mass)
p	=	$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$ ครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรองรวม (normal total stress)
\bar{p}	=	$\frac{(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)}{2}$ ครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรองประสิทธิผล (normal effective stress)
q	=	$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$ กำลังรับแรงเฉือนสูงสุด (maximum shear stress)
\bar{p}_f	=	\bar{p} ขณะวิบัติ
u	=	Pore Pressure
Δu	=	ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น (excess pore pressure)

- S_u = แรงเฉือนแบบอันเดรอน
- $\bar{\sigma}$ = Effective Stress
- σ = Total Stress
- $\bar{\sigma}_1$ = Effective Vertical Stress
- $\bar{\sigma}_3$ = Effective Vertical Stress
- $\Delta\sigma_1$ = การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมในแนวตั้ง
- $\Delta\sigma_3$ = การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมในแนวด้านข้าง
- σ_b = Back Pressure
- $\bar{\sigma}_f$ = total normal Stress on the failure plane at failure
- $\bar{\sigma}_f$ = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวยววิบัติขณะวิบัติ
(effective normal stress on failure plane at failure)
- τ_f = Undrained Shear Strength
- τ_f = กำลังรับแรงเฉือนบนผิวยววิบัติขณะวิบัติ (shear strength on failure plane at failure)
- ϕ = มุมเสียดทานประสิทธิผล (effective angle of shearing resistance)
- ϕ_u = angle of Mohr-Envelope