

การศึกษาเครื่องมือการเจียนแบบตรงสำหรับดินเหนียว



นายธวัชชัย สังขะวิไล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2215-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF DIRECT SIMPLE SHEAR EQUIPMENT FOR CLAYS

Mr.Tawatchai Sangkhawilai

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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2005

ISBN 974-14-2215-6

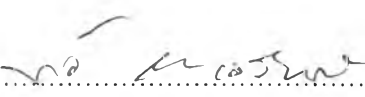
481567


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเครื่องมือการเค้นแบบตรงสำหรับดินเหนียว
โดย	นายธวัชชัย สังขะวิไล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏาชน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	Tian Ho Seah, Sc.D.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

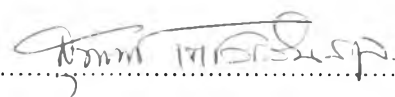

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธินะเจริญกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏาชน)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(Tian Ho Seah, Sc.D.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เดชวรสินสกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวัตร บุญญะฐิติ)

ธวัชชัย ลังชะვიไล : การศึกษาเครื่องมือการเฉือนแบบตรงสำหรับดินเหนียว. (A STUDY OF DIRECT SIMPLE SHEAR EQUIPMENT FOR CLAYS) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏาน, 223 หน้า. ISBN 974-14-2215-6.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเครื่องมือการเฉือนแบบตรงสำหรับดินเหนียว โดยใช้เครื่องมือทดสอบชนิดใหม่ล่าสุดของ Geonor และศึกษาข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องมือการเฉือนแบบตรงในการนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านความเค้น-ความเครียด และกำลังรับแรงเฉือนของดิน การทดสอบใช้หลักการ Recompression คือ ใช้ค่าหน่วยแรงสูงสุดที่กระทำในขบวนการยุบอัดตัวคายน้ำก่อนกระทำแรงเฉือน มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหน่วยแรงกดทับสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต (100 kPa) ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนการยุบอัดแน่นเกินตัว (OCR) เท่ากับ 1.0

ตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดสอบการเฉือนแบบตรง มีพื้นที่หน้าตัด 35 ตารางเซนติเมตร และสูง 16 มิลลิเมตร ขั้นตอนแรก คือ การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำในสภาพ 1 มิติ ขั้นตอนที่สองคือ กระทำแรงเฉือนกับตัวอย่างดิน โดยการเปลี่ยนค่าหน่วยแรงกดในแนวตั้งระหว่างที่หน่วยแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่างเพื่อไม่ให้มีแรงดันน้ำส่วนเกิน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร กำหนดอัตราเร็วในการเฉือนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ของความสูงตัวอย่างต่อชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างดินวิบัติ

หลักการสำคัญของเครื่องมือนี้ คือ การใช้แผ่นยางเสริมลวดเหล็ก หุ้มตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ เพื่อให้เกิดการเสีयरูปแบบ Simple Shear ทำให้ความเค้น-ความเครียด สม่าเสมอตลอดทั้งตัวอย่าง ข้อดีของเครื่องมือ คือ การใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมให้ความสูงของตัวอย่างคงที่ ทำให้เกิดการเฉือนตัวอย่างดินในสภาพไม่ระบายน้ำ ส่วนข้อจำกัดของเครื่องมือ คือ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินก่อนทดสอบ ยุ่งยาก สลับซับซ้อน ต้องใช้ความปราณีต โดยเฉพาะช่วงการใส่แผ่นยางเสริมลวดเหล็กเพื่อหุ้มตัวอย่างดิน อีกประการหนึ่งแผ่นยางเสริมลวดเหล็กที่ใช้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น ยังไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ ทำให้มีราคาแพงมาก ดังนั้นการนำเครื่องมือการเฉือนแบบตรงมาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน อาจจะไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อผู้คิด..... S. Tawatchai
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4570353621: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: BANGKOK SOFT CLAYS / DIRECT SIMPLE SHEAR / RECOMPRESSION / SHANSEP

TAWATCHAI SANGKHAWILAI : A STUDY OF DIRECT SIMPLE SHEAR EQUIPMENT FOR CLAYS.

THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.DR. BOONCHAI UKRITCHON, 223 pp. ISBN 974-14-2215-6.

The purposes of this research are to study the direct simple shear equipment for clays by using the Geonor's new apparatus, including advantages and disadvantages of this equipment for studying the stress-strain-strength characteristics of clay. The recompression method was performed in this research by specified maximum pre-shear stress less than or equal to maximum past pressure ($\sigma'_p = 100$ kPa), resulting in OCR=1.0.

The test specimen has the cross-section area 35 cm^2 and the height of 16 mm. The first step is performed by one dimensional consolidation test to get the desired consolidation stress. The second step are shearing performed by varying vertical stress for maintaining zero volume change in sample during undrained shearing, and using shear rate at 5%H/Hours until soil becomes failure.

The major principle of this apparatus is to contain specimen within wire reinforced rubber membrane before testing for creating condition of simple shear deformation, and ensuring uniformity of stress-strain throughout the specimen. Major advantage of this apparatus is the automatic height constant control system during undrained shearing. However, The major disadvantage of this apparatus is the complexity of clay preparation for Geonor apparatus, requiring very delicate sample trimming and membrane pushing into clay sample. Furthermore, wire reinforced rubber membrane is very expensive and must only be imported from Norway. So, the application of the direct simple shear test may not be useful in practice.

Department Civil Engineering Student's signature..... *S. Tawatchai*

Field of study Civil Engineering Advisor's signature..... *Boonchai Ukritchon*

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.บุญชัย อุกฤษฏาชน (Sc.D., MIT) ที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและการประยุกต์ใช้งานได้อย่างดีเยี่ยม อีกทั้งช่วยพัฒนาทักษะหลายด้านให้ผู้เขียน เช่น การให้เขียนบทความทางวิชาการหรือเอกสารประกอบการอบรม และการให้โอกาสผู้เขียนไปบรรยายในการประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ ทำให้ได้รับความรู้ใหม่ๆ อยู่เสมอ และได้ประสบการณ์ด้านวิชาการอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณ ดร.เขี้ย เตียน โฮ (Sc.D., MIT) รวมทั้งประธานกรรมการฯ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาใช้เวลามาร่วมสอบ ทำให้ผู้เขียนสำเร็จการศึกษาไปได้

ขอขอบคุณ มูลนิธิเมธิวิจัยอาวุโสและกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนให้เงินสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุรจักร สัมพันธ์รักษ์ (Sc.D., MIT) ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านไปติดตามเรื่องเครื่องมือทดสอบ Direct Simple Shear ที่ต่างประเทศด้วยตนเอง คอยสอบถามความคืบหน้าในการทำวิจัยและความถูกต้องของเครื่องมืออยู่เสมอ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความมีน้ำใจ และความเมตตาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐิติ ที่เสนอชื่อผู้เขียนเพื่อเข้ารับรางวัล จนได้รับการคัดเลือกเป็นนิสิตดีเด่นระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2547

ขอขอบคุณ พี่เอ๋ ผศ.ดร.สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ (Sc.D., MIT) ขณะยังเรียนอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ Massachusetts Institute of Technology ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำที่ดีก่อนเข้ามาเรียน และคอยสอบถามความคืบหน้าของงานวิจัยอยู่เสมอ

ขอขอบคุณ คุณพรพิชา เหมหงษ์ (แอน) ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องเสมอมา รวมทั้งน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คุณพลากร พีรภาคย์ คุณวีระ ศักดิ์สุพรรณ รวมถึงผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านในที่นี้ อีกหลายท่าน ที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ความดีหรือประโยชน์จากส่วนหนึ่งส่วนใดแม้เพียงเล็กน้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบให้กับบิดาและมารดาที่เป็นพลังกาย พลังใจ พลังปัญญา อย่างดีเยี่ยมกับสนับสนุนส่งเสริมให้การศึกษาเล่าเรียนมาจนได้ดีถึงปัจจุบัน อนึ่ง เนื่องจากผู้เขียนเป็นบุคคลแรกของประเทศที่ศึกษาการใช้เครื่องมือ Direct Simple Shear ดังนั้นท่านต้องใช้วิจารณญาณที่ดีก่อนนำข้อมูลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้อ้างอิง และถ้าพบข้อบกพร่องประการใดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนยินดีน้อมรับคำติชม จากท่านผู้สนใจใฝ่รู้ทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.4.1 ประโยชน์ทางด้านวิชาการของการทดสอบการเขื่อนแบบตรง.....	4
1.4.2 ประโยชน์ทางการประยุกต์ใช้งาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สภาพทางธรณีวิทยาทั่วไปและชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ.....	5
2.2 ลำดับการเกิดดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ.....	9
2.3 ลักษณะของชั้นดิน.....	11
2.3.1 ชั้นดินเหนียวอ่อนทะเล.....	13
2.3.2 ชั้นดินเหนียวแข็ง	13
2.3.3 ชั้นทรายชั้นที่ 1.....	14
2.3.4 ชั้นดินเหนียวแข็งมาก.....	14
2.3.5 ชั้นทรายชั้นที่ 2.....	15
2.4 หลักการแรงเขื่อนของ Ladd (1963)	15
2.5 วิธีการวัดกำลังรับแรงเขื่อนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u)	16
2.5.1 วิธีการของ Bjerrum (1972)	17

2.5.2	วิธีการวัดค่า S_u ด้วยวิธี Recompression.....	19
2.5.3	วิธีการวัดค่า S_u ด้วยวิธี Normalized Soil Parameters (NSP).....	20
2.5.3.1	หลักการของ NSP (NSP Concept)	20
2.5.3.2	วิธีการวัด S_u ด้วยวิธี SHANSEP	23
2.5.4	การประยุกต์ใช้ NSP ในทางปฏิบัติ	24
2.5.5	ตัวประกอบที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ	27
2.5.5.1	ผลกระทบจากคุณสมบัติพื้นฐาน	28
2.5.5.2	ผลกระทบจากแอนไอโซโทปิกของมวลดิน	29
2.5.5.3	ผลกระทบจากระบบของหน่วยแรงที่กระทำ	30
2.5.5.4	ผลกระทบจากประวัติของหน่วยแรง	31
2.5.5.5	ผลกระทบจากโครงสร้างของมวลดินและการรบกวนตัวอย่างดิน	35
2.5.5.6	ผลกระทบจากอัตราความเครียด	40
2.6	ประวัติความเป็นมาและเครื่องมือสำหรับทดสอบการเฉือนแบบตรง	40
2.7	ผลงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการเฉือนแบบตรง	44
2.8	ความสม่ำเสมอของความเค้นและความเครียด	46
2.8.1	การวิเคราะห์ทางทฤษฎีและการวิเคราะห์เชิงตัวเลข	47
2.8.2	ผลการทดสอบจากห้องทดลอง	52
2.8.3	สรุปเรื่องความสม่ำเสมอของความเค้นและความเครียด	56
2.9	ลักษณะของความเค้น ณ จุดวิบัติ	57
2.9.1	เงื่อนไขการวิบัติ	58
2.9.2	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 1	59
2.9.3	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 2	59
2.9.4	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 3	60
2.9.5	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 4	61
2.9.6	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 5	61
2.9.7	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 6	62

2.9.8	เงื่อนไขการวิบัติแบบที่ 7	64
2.9.9	อภิปรายผลการทดสอบ.....	65
2.9.10	ระนาบของการแตกออก.....	67
2.9.11	บทสรุปเกี่ยวกับลักษณะของความเค้น ณ จุดวิบัติ	68
2.10	ผลงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต.....	83
2.10.1	ข้อมูลการทดสอบ CK_0UDSS ในดินเหนียวอัดตัวแน่นปกติ (NC Clays)	84
2.10.2	ข้อมูลการทดสอบ CK_0UDSS ในดินเหนียวอัดแน่นเกินตัว (OC Clays)	87
2.11	ผลการทดสอบดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ M.I.T.....	90
2.11.1	ความเป็นมา.....	90
2.11.2	ผลการทดสอบ CK_0UDSS	91
2.11.3	เปรียบเทียบกับข้อมูลผลการทดสอบอื่น.....	92
บทที่ 3	วิธีการวิจัยและทดสอบ	105
3.1	สถานที่เก็บตัวอย่างและวิธีการเก็บตัวอย่าง	105
3.1.1	สถานที่เก็บตัวอย่าง	105
3.1.2	วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	106
3.2	การทดสอบคุณสมบัติของดิน	106
3.2.1	การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน	106
3.2.2	การทดสอบส่วนประกอบทางเคมี	106
3.3	โปรแกรมการทดสอบ	107
3.3.1	ทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวในสถานะดินเหลว.....	107
3.3.2	การทดสอบการเจือนแบบตรง	107
3.4	การทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวในสถานะดินเหลว	108
3.4.1	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	108
3.4.2	ขั้นตอนการทดสอบ Reconstituted Soils	109
3.5	การทดสอบหาค่าลึงรับแรงเจือนของดินเหนียว	112

3.5.1 การทดสอบการเฉือนแบบตรง (Direct Simple Shear).....	112
3.5.1.1 สำหรับดินเม็ดละเอียด.....	112
3.5.1.2 สำหรับดินเม็ดหยาบ.....	112
3.5.2 รายละเอียดของเครื่องมือการทดสอบ Geonor DSS	113
3.5.2.1 ลักษณะสำคัญของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	113
3.5.2.2 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือทดสอบ Geonor DSS.....	113
3.5.2.3 เครื่องมือทดสอบ Geonor DSS ชนิดใหม่.....	114
3.5.2.4 โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลและประมวลผล.....	115
3.5.3 ขั้นตอนการทดสอบ.....	117
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล	119
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินและส่วนประกอบทางเคมี.....	119
4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐาน	119
4.1.2 ผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี.....	120
4.2 การตรวจสอบความสม่ำเสมอของดินเหนียวสร้างใหม่	120
4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยเครื่องมือ Geonor DSS (Monotonic)	121
4.3.1 การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว	122
4.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว	123
4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวแบบ Monotonic	124
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	126
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	126
5.2 ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องมือการเฉือนแบบตรง	128
5.2.1 ข้อดีของการทดสอบ.....	128
5.2.2 ข้อจำกัดของการทดสอบ.....	129
5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	130

รายการอ้างอิง.....	133
ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมแผ่นหินพรุน (Porous Stone)	142
ภาคผนวก ข วิธีการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวสร้างใหม่ (Reconstituted Soils)	147
ภาคผนวก ค วิธีการเตรียมตัวอย่างดินสำหรับทดสอบด้วยเครื่องมือ Geonor DSS.....	156
ภาคผนวก ง วิธีการติดตั้งตัวอย่างในเครื่องมือ Geonor DSS.....	172
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ และการ Flushing of Filter Holders.....	175
ภาคผนวก ฉ ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน แบบไม่ระบายน้ำ (วิธี Static)	180
ภาคผนวก ช ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน แบบระบายน้ำ (วิธี Static)	183
ภาคผนวก ซ คู่มือการใช้โปรแกรม DSSPRO 3.2 (ฉบับภาษาไทย)	186
ภาคผนวก ฅ รูปถ่ายเครื่องมือเตรียมดินและเครื่องมือทดสอบ DSS.....	216
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	223

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวธรรมชาติ.....	119
4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวธรรมชาติกับดินเหนียวสร้างใหม่	120
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวสร้างใหม่.....	121
4.4 แสดงการเปลี่ยนน้ำหนักแต่ละช่วงของการ Consolidation.....	121
5.1 ตัวอย่างโปรแกรมการทดสอบดินเหนียวที่แนะนำ (สำหรับระดับปริญญาโท)	131

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องมือทดสอบการเฉือนแบบตรง (Direct Simple Shear Apparatus).....	3
รูปที่ 1.2 เครื่องมือควบคุมและบันทึกข้อมูลการทดสอบการเฉือนแบบตรง.....	3
รูปที่ 2.1 รูปตัดตามแนวเหนือ - ใต้ ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	5
รูปที่ 2.2 แผนที่เขตจังหวัดและเขตดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	6
รูปที่ 2.3 Isopach Map ของความหนาดินเหนียวกรุงเทพฯ	7
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของชั้นดิน Bangkok Clay	8
รูปที่ 2.5 Transgression Sediments (8,000 – 6,000 ปีก่อนปัจจุบัน)	10
รูปที่ 2.6 Regression Sediments (6,000 ปีก่อนปัจจุบัน - ปัจจุบัน) ทับอยู่บน Transgression Sediments	11
รูปที่ 2.7 รูปตัดแ่งชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ	12
รูปที่ 2.8 ค่าปรับแก้ μ ของ Bjerrum (1972) สำหรับ Geonor Vane ที่มี H/D = 2.0.....	18
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\% \epsilon_v$ กับ $\log \sigma'_{vc}$ ของผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำจากวิธี Recompression และ SHANSEP ในการทดสอบ $\overline{CK_0U} - TC$	20
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างพฤติกรรม Normalized ที่สมบูรณ์ตามหลักการของ NSP	21
รูปที่ 2.11 Normalized Behavior ของผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของ Normally Consolidated Marine Organic Clay	21
รูปที่ 2.12 Normalized Behavior ของผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของ Boston Blue Clay	22
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Void Ratio (e) และ Vertical Effective Stress (σ'_{vc}) ระหว่างการ Reconsolidated เมื่อมีการรบกวนต่อตัวอย่างดิน และลักษณะการ Consolidation ตามวิธี SHANSEP ของดินที่อยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ.....	23
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง S_v/σ'_{v0} กับ Log OCR จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - TC$ ของ ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ถูกอัดตัวคายน้ำโดยวิธี Recompression.....	25
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง S_v/σ'_{v0} กับ Log OCR จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - TE$ ของ ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ถูกอัดตัวคายน้ำโดยวิธี Recompression.....	25

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง S_u/σ'_{v0} กับ Log OCR จากผลการทดสอบ In Situ Field Vane Shear Tests ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	26
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(S_u/\sigma'_{vc})_{NC}$ กับ PI	29
รูปที่ 2.18 เส้นขอบเขตการวิบัติของดินเหนียวในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล	31
รูปที่ 2.19 แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลของดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated Clay)	32
รูปที่ 2.20 แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลของดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated Clay)	32
รูปที่ 2.21 ค่า A_v กับ OCR ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ รวบรวมข้อมูลในสนามจากคันดินที่มีค่า พิกัดความปลอดภัยประมาณ 1.5	33
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\mu S_{uFV}/\sigma'_p$ กับ OCR ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	33
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $[S_u/\sigma'_{vc}] / [S_u/\sigma'_{vc}]_{NC}$ กับ OCR	34
รูปที่ 2.24 ชนิดของโครงสร้างของดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอน.....	35
รูปที่ 2.25 ผลของ Aging ที่ทำให้ NC Clay กลายเป็น OC Clay	37
รูปที่ 2.26 ผลของ Aging และ Cementation ต่อ Consolidation Curve	37
รูปที่ 2.27 แสดงการเปรียบเทียบ Consolidation Curve ของ Natural Aged Clay และ Reconstituted Young Clay	37
รูปที่ 2.28 ผลของประวัติของหน่วยแรงและการรบกวนต่อตัวอย่าง.....	39
รูปที่ 2.29 รูปตัดเครื่องมือทดสอบแบบ SGI Simple Shear Apparatus	41
รูปที่ 2.30 (a) อุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือนอย่างง่ายของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ และ (b) อุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือนอย่างง่ายของ NGI	42
รูปที่ 2.31 อุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือนอย่างง่ายของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์แบบ Mk7 (a) รูปตัด (b) การจัดวางทรานดิวเซอร์วัดแรง (c) การติดตั้งที่วัดแรงต่างๆ ไป และ (d) ความเค้นที่สรุปมาจากแกนของตัวอย่าง	43
รูปที่ 2.32 อุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือนอย่างง่ายรูปทรงกระบอกของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ (CSSA) (a) รูปตัด (b) การติดตั้งที่วัดแรงต่างๆ ไป	43
รูปที่ 2.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสถานะของความเค้นในตัวอย่างทดสอบ Simple Shear กับสภาพที่เกิดขึ้นจริง	47

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.34 แสดงความเค้นยึดหยุ่นในอุปกรณ์การทดสอบ Simple Shear ของเคมบริดจ์.....	48
รูปที่ 2.35 แสดงความเค้นยึดหยุ่นในอุปกรณ์การทดสอบ Direct Simple Shear ของ Geonor	50
รูปที่ 2.36 การกระจายของแรงเฉือน และความเค้นตั้งฉากที่ผิวบนของตัวอย่างทดสอบ ใน เครื่องมือทดสอบของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ระหว่างการไถล ซึ่งคำนวณโดย Prevost และ Hoeg	51
รูปที่ 2.37 ผลกระทบของอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง และชนิดของ แผ่นยางต่างๆ กัน โดยการวัดค่าที่มีความเค้นเฉือนในแนวอนสูงที่สุด จากเครื่องมือ ทดสอบ DSS ของ Geonor ในตัวอย่างดินจาก Haga	53
รูปที่ 2.38 ผลการทดสอบแบบปริมาตรคงที่ (Constant Volume) จากเครื่องมือทดสอบ DSS ของ Geonor ในตัวอย่างดินจาก Drummen โดยมีพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง 20 และ 50 ตารางเซนติเมตร (a) การทดสอบแบบสถิตศาสตร์ (b) การทดสอบแบบวัฏจักร.....	54
รูปที่ 2.39 การกระจายของความเค้นที่บริเวณ 1 ใน 3 ส่วนของตัวอย่างในการทดสอบแบบ ปริมาตรคงที่ของดิน Kaolin ใน Cambridge CSSA (a) Principal third load cell (b) ความเค้นตั้งฉาก (c) ความเค้นเฉือน ($\alpha =$ มุมบิดเฉือน γ_{xx}	55
รูปที่ 2.40 นิยามของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ : (1) รัศมีของวงกลมมอร์ ของความเค้น ที่จะวิบัติ, $S_u = q_u$; (2) ความเค้นเฉือนที่ระนาบวิบัติ, $S_u = \tau_{ff} = q_u \cos \phi'$	58
รูปที่ 2.41 นิยามของความเค้น และมุมของแรงเสียดทาน ณ สภาวะเริ่มต้น และสภาวะที่จุดวิบัติ ในการทดสอบ Direct Simple Shear	69
รูปที่ 2.42 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 1 : ระบบของแรงที่มา กระทำเป็นแรงเฉือนอย่างเดียว.....	70
รูปที่ 2.43 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 2 : ระนาบราบคือ ระนาบ ที่เกิดการวิบัติ	71
รูปที่ 2.44 สัดส่วนของความเค้นที่ระนาบราบใน 1 ใน 3 การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ของอัตราส่วนช่องว่างในตัวอย่างทั้งหมดและการเอียงของแนวราบของระนาบความ เค้นหลัก (ψ), การเพิ่มขึ้นของความเค้น (χ), การเพิ่มขึ้นของความเครียด (ξ), ระนาบ ของความเค้นเฉือนสูงสุด (β), มุมเอียงสูงสุด (ω) ในการทดสอบแบบระบายน้ำ ของ	

ภาพประกอบ	หน้า
เครื่องมือทดสอบ DSS จากเคมบริดจ์ : (a) ทราายนั่นปานกลาง ($e_0 = 0.68$); (b) ทราายนั่นมาก ($e_0 = 0.53$; หลังจาก Roscoe, et al., 1967)	72
รูปที่ 2.45 รอยแตกที่ตรวจพบด้วย Radiograph ในการทดสอบ Simple Shear ของดินเหนียวจาก Kaolin (หลังจาก Airey, et al., 1985)	72
รูปที่ 2.46 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 3 : ระบายน้ำคือ ระบายน้ำที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุด	73
รูปที่ 2.47 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 4 : สมมุติเส้นขอบเขตการวิบัติแบบ Mohr – Coulomb	74
รูปที่ 2.48 การเปรียบเทียบเหมือนหนังสือที่เรียงชิดติดกัน กับการเสียรูปในสภาพ Simple Shear ซึ่งทำให้เกิดการเลื่อนไถลของระนาบราบหรือระนาบตั้ง	75
รูปที่ 2.49 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 5 : การวิบัติเกิดขึ้นบนระนาบในแนวตั้ง	76
รูปที่ 2.50 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล และสภาพวิบัติในการทดสอบ CK_0UDSS ของดินเหนียวอัดตัวแน่นปกติ จากดินเหนียว Kaolin	77
รูปที่ 2.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายใน กับอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ในผลการทดสอบ CK_0UDSS ของดินเหนียวอัดตัวแน่นปกติ ชนิดดินเหนียวที่มีความเชื่อมแน่น	77
รูปที่ 2.52 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 6 : ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่าง τ_n/σ'_v และ $K \cdot \tan \delta$	78
รูปที่ 2.53 ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่าง $R = \tau_{xy}/\sigma_{yy} (= \tau_n/\sigma'_{vc})$ และ $\tan \delta$ สนับสนุนโดยข้อมูลช่วงกว้างที่แตกต่างกัน จากการทดสอบ Direct Simple Shear ชนิดระบายน้ำของทรายจาก Leighton Buzzard	79
รูปที่ 2.54 ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่าง $R = \tau_{xy}/\sigma_{yy} (= \tau_n/\sigma'_v)$ และ $\tan \delta$ จากการทดสอบ CU Direct Simple Shear ของดินเหนียวอัดตัวแน่นปกติ คือ ดินเหนียว Kaolin	79
รูปที่ 2.55 เงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 7 : การเกิดขึ้นพร้อมกันของแกนหลักของการเพิ่มขึ้นของความเครียด และความเค้น	80
รูปที่ 2.56 การเปลี่ยนแปลงของมุม ξ , ψ และ χ กับมุมเฉือนบิด $\alpha (= \gamma_{yx})$ ในการทดสอบแรงเฉือนอย่างง่ายโดยมีแรงกระทำแบบวัฏจักรของทรายนั่นซึ่งทดสอบโดย	81

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.57 การทำนายมุม ϕ' เทียบกับมุมเฉียง (τ_u/σ'_v) ที่ค่าแรงต้านการเฉือนในแนวราบมีค่ามากที่สุด สำหรับเงื่อนไขการวิบัติในการทดสอบ Direct Simple Shear แบบที่ 2, 3, 5 และ 7.....	82
รูปที่ 2.58 กราฟระหว่าง S_u/σ'_{vc} เทียบกับค่า P.I. จากการทดสอบ CK_0UDSS และการทดสอบ Triaxial Compression ในดินเหนียวอัดตัวแน่นปกติ โดยที่ $\sigma'_{vc} \geq 1.5-2 \sigma'_{vm}$	84
รูปที่ 2.59 กราฟระหว่าง E_u/S_u เทียบกับค่า Applied Shear Stress Ratio จากการทดสอบ CK_0UDSS ในดินเหนียวอัดตัวแน่นปกติจำนวน 5 ชนิด	86
รูปที่ 2.60 กราฟระหว่าง Undrained Strength Ratio เทียบกับค่า OCR จากผลการทดสอบ CK_0UDSS ในดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวจำนวน 5 ชนิด	88
รูปที่ 2.61 การลดลงของ Undrained Strength เมื่อ Rebound จากผลการทดสอบ CK_0UDSS ในดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวจำนวน 5 ชนิด	89
รูปที่ 2.62 Undrained Strength และ Consolidation Stress จากการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ในดินเหนียวกรุงเทพฯ	95
รูปที่ 2.63 Normalized Stress Path จากการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ในดินเหนียวกรุงเทพฯ	96
รูปที่ 2.64 Normalized Stress และ Strain จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยพิจารณาค่า OCR = 1.0, 1.5, 3.0 และ 6.0.....	97
รูปที่ 2.65 Undrained Strength Ratio และ Overconsolidation Ratio จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ และการทดสอบ \overline{CIUC} ของดินเหนียวกรุงเทพฯ	98
รูปที่ 2.66 E_u/S_u และค่า Applied Shear Stress Ratio จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ โดยพิจารณาค่า OCR = 1.0 ถึง 2.0.....	99
รูปที่ 2.67 E_u/S_u และค่า Overconsolidation Ratio จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของดินเหนียวกรุงเทพฯ	100
รูปที่ 2.68 Vertical Strain และ Overconsolidation Ratio จากการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ในดินเหนียวกรุงเทพฯ.....	101
รูปที่ 2.69 E_u/S_u และค่า Overconsolidation Ratio จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของดิน Boston Blue Clay.....	102

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.70 Undrained Strength Ratio และค่า Overconsolidation Ratio จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของดิน Boston Blue Clay แบบ Rebounded และตัวอย่างดินแบบ Recompression	103
รูปที่ 2.71 E_u/S_u และค่า Overconsolidation Ratio จากผลการทดสอบ $\overline{CK_0U} - DSS$ ของดินเหนียว Maine Organic	104
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ	105
รูปที่ 3.2 เครื่องมือทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินเหลว	108
รูปที่ 3.3 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินเหลว	110
รูปที่ 3.4 การดันตัวอย่างดินออกจาก Cell Chamber	111
รูปที่ 3.5 เครื่องมือตัดแบ่งตัวอย่างดินเหนียวสร้างใหม่	112
รูปที่ 3.6 เครื่องมือทดสอบการเฉือนแบบตรงชนิดใหม่	117
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (Recompression)	122
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (SHANSEP)	123
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนของตัวอย่างดินเหนียว	123
รูปที่ 4.4 ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) ของตัวอย่างดินเหนียว	124
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือน (kPa) และความเครียดเฉือน (%)	124
รูปที่ 4.6 แสดงเส้นโค้งการอัดตัวของทดสอบตัวอย่างดินเหนียว	125
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (kPa) และค่าความเครียดเฉือน (%)	125

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

หมายเหตุ

1. ถ้านำหน้าด้วย Δ หมายถึง การเปลี่ยนแปลง
2. ถ้าน้อยท้ายด้วย f หมายถึง ขั้นสุดท้าย หรือ เงื่อนไขการวิบัติ
3. ถ้าน้อยท้ายด้วย \max หมายถึง ค่ามากที่สุดของค่านั้นๆ
4. ด้วย $'$ บนสัญลักษณ์ ความเค้น หมายถึง ค่าความเค้นประสิทธิผล (effective stress)
5. ด้วย $'$ บนสัญลักษณ์ อื่นๆ หมายถึง ค่านั้นแสดงอยู่ในรูปของค่าความเค้นประสิทธิผล

A, B	= พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำในโพรงดินของ Skempton
A_q	= พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำในโพรงดิน ณ จุดวิบัติที่ q_{\max}
a'	= ความเชื่อมแน่นปรากฏในรูป $p'-q'$ พลอต
ADU	= Autonomous Data-acquisition Unit
c'	= ความเชื่อมแน่นที่ปรากฏ (Cohesion Intercept)
c'/σ'_p	= Normalized c'
CR	= สัดส่วนการอัดตัว (Compression Ratio)
CU test	= Consolidation Undrained Test
C_v	= สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation)
C_α	= ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวครั้งที่สอง (Coefficient of Secondary Compression)
\overline{CIUC}	= Isotropic Consolidation Undrained Compression Test with Pore Pressure Measurement
$\overline{CK_0UC}$	= K_0 -Consolidation Undrained Compression Test with Pore Pressure Measurement
$\overline{CK_0U - TC}$	= K_0 -Consolidation Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement
$\overline{CK_0U - TE}$	= K_0 -Consolidation Undrained Triaxial Extension Test with Pore Pressure Measurement
$\overline{CK_0U - DSS}$	= K_0 -Consolidation Undrained Direct Simple Shear Test with Pore Pressure Measurement

EOP	= จุดสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำ (End of Primary)
ESA	= การวิเคราะห์หีในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis)
ESP	= ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path)
E_u	= Undrained Modulus
K	= ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง (Coefficient of Lateral Earth Pressure)
K_a	= Active Stress Ratio
K_f	= ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ จุดวิบัติ q_{max} (Coefficient of Lateral Earth Pressure at Failure)
K_0	= ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ สภาวะสมดุล (Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest)
$K_{0(NC)}$	= ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ สภาวะสมดุลของตัวอย่างดินที่อยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ
$K_{0(OC)}$	= ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ สภาวะสมดุลของตัวอย่างดินที่อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัว
K_p	= Passive Stress Ratio
NC	= สภาพอัดแน่นปกติของดิน (Normally Consolidated Clay)
NESE	= เส้นขอบเขตการวิบัติในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลแบบ $p'/\sigma'_p - q'/\sigma'_p$ พลอต (Normalized Effective Stress Failure Envelope)
NSP	= Normalized Soil Properties
LL	= ชีดความเหลว (Liquid Limit)
LI	= ดัชนีความเหลว (Liquidity Index)
LIR	= Load Increment Ratio
LVDT	= Linear Variable Differential Transformer
OC	= สภาพอัดแน่นเกินตัวของดิน (Overconsolidated Clay)
OCR	= สัดส่วนการอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation Ratio)
OCR(FV)	= ค่า OCR จากการทดสอบ Field Vane Shear Test
OCR(Lab)	= ค่า OCR จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ
PI	= ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index)

PL	=	ขีดพลาสติก (Plastic Limit)
p, p'	=	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ และ $\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$
q, q'	=	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ และ $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$
$q'/\sigma'_{vc}, S_u/\sigma'_{vc}$	=	Normalized Undrained Shear Strength
RR	=	สัดส่วนการอัดตัวซ้ำ (Recompression Ratio)
S	=	ค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน (Degree of Saturation)
SC	=	การทดสอบแบบควบคุมด้วยความเครียด (Strain Control Test)
SHANSEP	=	Stress History and Normalized Soil Engineering Properties
S_i	=	ค่าความไวตัวของดิน (Sensitivity)
S_u, C_u, q_{max}, q_f	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)
$S_{uFV}, S_u(FV)$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ Field Vane Shear
$S_{uTC}, S_u(TC)$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ Triaxial Compression
$S_{uTE}, S_u(TE)$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ Triaxial Extension
$S_{u\beta}$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ระนาบ β ต่างๆ
$(S_u/\sigma'_{vc})_{NC}$	=	Normalized Undrained Shear Strength for NC Clay
σ'_p	=	หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ (Maximum Past Pressure)
TSA	=	การวิเคราะห์ในรูปแบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis)
TSP	=	ทางเดินของหน่วยแรงรวม (Total Stress Path)
UC	=	Unconfined Compression Test
UU	=	Unconsolidated Undrained Test
u	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore Pressure)
u_b	=	Back Pressure
u_f	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน ณ จุดวิบัติ q_{max} (Pore Pressure at Failure)
u_0	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน ณ สภาวะสมดุล (Equilibrium Pore Pressure)

W_f	= ปริมาณความชื้นในมวลดิน ณ จุดวิบัติ q_{max}
W_n	= ปริมาณความชื้นในมวลดินตามธรรมชาติ
β	= ค่าสัดส่วนระหว่าง q/p' (MIT Stress Path)
α'	= มุมต้านทานแรงเฉือนในรูป $p'-q'$ พลอต
ϕ'	= มุมต้านทานแรงเฉือน (Angle of Shearing Resistance)
θ	= ทิศทางของทางเดินของหน่วยแรงรวม
τ	= หน่วยแรงเฉือน (Shear Stress)
τ_{ff}	= หน่วยแรงเฉือนบนระนาบที่เกิดการวิบัติ
σ	= หน่วยแรงรวมในมวลดิน (Total Stress)
σ_1	= Major Principal Stress
σ_2	= Intermediate Principal Stress
σ_3	= Minor Principal Stress
σ_v	= หน่วยแรงรวมในแนวดิ่ง (Vertical Total Stress)
σ_h	= หน่วยแรงรวมในแนวนอน (Horizontal Total Stress)
σ'	= หน่วยแรงประสิทธิผลในมวลดิน (Effective Stress)
σ'_v	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง (Vertical Effective Stress)
σ'_h	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอน (Horizontal Effective Stress)
σ'_{vo}	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (Effective Vertical Overburden Stress)
σ'_{ho}	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอนตามธรรมชาติ (Effective Horizontal Overburden Stress)
σ'_{vc}	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งที่ทำให้ดินถูกอัดตัวคายน้ำในแต่ละ ชั้นตอนของการ Consolidation (Effective Vertical Consolidation Stress)
σ'_{ff}	= หน่วยแรงตั้งฉากบนระนาบที่เกิดการวิบัติ
σ'_p	= หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ (Maximum Past Pressure)
σ'_s	= Preshear Effective Vertical Stress
σ'_1/σ'_3	= Principal Stress Ratio , Obliquity

$(\sigma'_1/\sigma'_3)_{\max}$	= Maximum Obliquity
ΔL	= ความสูงของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการทดสอบ
Δq	= ค่าความเปลี่ยนแปลงของ q
Δp	= ค่าความเปลี่ยนแปลงของ p
ΔK	= ค่าความเปลี่ยนแปลงของ K
ΔV	= ปริมาตรของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการทดสอบ
Δu	= แรงดันน้ำในโพรงดินส่วนเกิน (Excess Pore Pressure)
Δu_c	= Excess Pore Pressure due to Increment of Isotropic Stress ($\Delta\sigma_3$) มีค่าเท่ากับ $B\Delta\sigma_3$
Δu_d	= Excess Pore Pressure due to Increment of Deviator Stress ($\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$) มีค่าเท่ากับ $B\bar{A}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)$
Δu_f	= แรงดันน้ำในโพรงดินส่วนเกิน ณ จุดวิบัติที่ q_{\max}
$\Delta u/\sigma'_{vc}$	= Normalized Excess Pore Pressure
$\Delta(S_u/\sigma'_{vc})_{NC}$	= ความแตกต่างของ $(S_u/\sigma'_{vc})_{NC}$ ที่สัดส่วน σ'_{vc}/σ'_p ต่างๆ
$\Delta\sigma_1$	= Major Principal Increment Stress
$\Delta\sigma_2$	= Intermediate Principal Increment Stress
$\Delta\sigma_3$	= Minor Principal Increment Stress
μ	= ค่าปรับแก้ S_{uFV} ของ Bjerrum (Bjerrum's Correction Factor)
$\mu S_{uFV}/\sigma'_{vo}$	= Normalized Field Vane Shear Strength
$\mu S_{uFV}/\sigma'_p$	= Normalized Shear Strength for Stability Analyses
ϵ	= ค่าความเครียด
ϵ_f	= ค่าความเครียด ณ จุดวิบัติที่ q_{\max}
γ_t	= ความหนาแน่นรวม (Total Density)