แอนไอโซทรอปีของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินอ่อนกรุงเทพฯ

นายเรืองเดช ศดวิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2525

ISBN 974-561-628-1

010523

i 1713898X

UNDRAINED SHEAR STRENGTH ANISOTROPY OF SOFT BANGKOK CLAY

Mr. Ruangdej Satawiriya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินอ่อนกรุงเทพฯ

โดย นายเรืองเดช ศตวิริยะ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ชัย มุกตพันธุ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ประจิต จิรัปปภา)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินอ่อนกรุงเทพฯ

ชื่อนิสิต นายเรืองเดช ศตวิริยะ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2525

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ดินเหนียวตามธรรมชาติมีคุณสมบัติที่มักจะรับแรงเฉือนแบบอันเดรนได้แตกต่างกันเมื่อมีความเค้นมากระทำในทิศทางที่ต่างกัน คุณสมบัตินี้เรียกว่า แอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ซึ่งมีมูลเหตุจากองค์ประกอบ 2 ประการคือ

1. แอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัว (inherent anisotropy) และ

2. แอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยความเค้น (stress induced anisotropy)

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อ

1. ศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนต่อทิศทางของความเค้นที่เข้ามากระทำสำหรับดินอ่อนกรุงเทพฯ (Anisotropy of Undrained Shear Strength)

2. ศึกษาความเหมาะสมของวิธีการง่าย ๆ เช่นวิธีแบบ Unconsolidated undrained triaxial compression tests) ที่ใช้ในการทดสอบปัจจุบันในการวัดแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน

ได้ใช้เครื่องทดสอบไตรแอ็กเชียลทำการทดสอบแรงเฉือนแบบอันเดรนหลาย ๆ แบบแตกต่างกันไปเพื่อวัดคุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ โดยการเตรียมตัวอย่างที่แกนของตัวอย่างทำมุม $\beta = 0^{\circ}, 45^{\circ}$ & 90° กับแนวดิ่งธรรมชาติ แล้วทดสอบแรงกดที่ $\bar{\sigma}_c$ ต่าง ๆ กัน ($\overline{CIUC}$ tests) และใช้การทดสอบจากตัวอย่างในแนวดิ่ง โดยที่คอนโซลิเดทตัวอย่างด้วย $\bar{\sigma}_v$ และ $\bar{\sigma}_h$ ใกล้เคียงกับธรรมชาติแล้วจึงกด ($\overline{CK_oUC}$ tests) และดึง ($\overline{CK_oUE}$ tests) ตัวอย่างนั้น ตัวอย่างที่ใช้เป็นดินอ่อนกรุงเทพฯ จากระดับ 2 ระดับความลึกคือที่ 4.50-5.00 และ 7.00-7.50 เมตร เพื่อการเปรียบเทียบกันและการทดสอบก็ทำที่ระดับ

ความเค้นต่างกัน เพื่อศึกษาองค์ประกอบที่มีผลต่อการวัดได้ การแสดงผลทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u), พารามิเตอร์ของความดันน้ำ (A) และพารามิเตอร์ของการวิบัติ ($\bar{c}$, $\bar{\phi}$)

ผลการทดสอบและวิเคราะห์พบว่า ดินจาก 2 ระดับความลึกมีคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปใกล้เคียงกันมาก แต่ดินส่วนบน (ระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร) มีการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติต่าง ๆ มากกว่าดินส่วนล่าง เนื่องจากอยู่ใกล้ Crust Zone และ OCR ก็มากกว่าด้วย

ส่วนคุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนแบบอันเดรนและอื่น ๆ คล้ายคลึงกัน ดินอ่อนกรุงเทพฯ นี้มีแรงเฉือนแบบอันเดรนในแนวดิ่งมากที่สุดและจะลดลงเมื่อ β^o เพิ่มขึ้น นั่นคือ รับแรงในแนวนอนได้น้อยที่สุด องค์ประกอบของการทดสอบแบบต่าง ๆ มีอิทธิพลมากต่อผลการวัดแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนแบบอันเดรน อาจสรุปได้ดังนี้

1. จากผลการทดสอบ UU ในตัวอย่างถูกรบกวนน้อยที่สุด (UU-UND) และ UU ในตัวอย่างถูกคลุกเคล้าใหม่ (UU-RE) แสดงให้เห็นว่า การรบกวนตัวอย่างนอกจากจะทำให้แรงเฉือนแบบอันเดรนลดลงแล้ว ยังทำให้คุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัวที่วัดได้น้อยกว่าค่าจริง การทดสอบดิน 2 ระดับความลึก (4.50-5.00 และ 7.00-7.50 เมตร) โดยใช้ตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดได้ค่าแรงเฉือนสัมพัทธ์ ($K_s = \frac{S_{u\beta=90^o}}{S_{u\beta=0^o}}$) = 0.73 และ 0.76 ตามลำดับ และการคลุกเคล้าใหม่ทำให้คุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้หายไปจนหมดคือ $K_s = 1.0$

2. จากการทดสอบ $\overline{CIUC}$ มีการคอนโซลิเดททำให้คุณภาพตัวอย่างดีขึ้น ทำให้การวัดแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัวของแรงเฉือนแบบอันเดรนใกล้เคียงค่าจริงมากขึ้น เมื่อทดสอบที่ $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo}$ ที่ความลึก 4.50-5.00 และ 7.00-7.50 เมตร ได้ K_{SI}= 0.78 และ 0.87 ตามลำดับ แต่เมื่อคอนโซลิเดทแบบไอโซทร้อปปี้นี้ที่ความดันเซลล์สูง ๆ คือ $\bar{\sigma}_c >> \bar{\sigma}_{vm}$ จะทำให้ดินมีคุณสมบัติทางไอโซทร้อปปิคมากไปและ K_{SI} มีค่าประมาณ 1.0 จากผลการทดลองซึ่งไม่รวมผลของแอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยความเค้น (stress induced anisotropy) พบว่า ดินมีคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของความดันน้ำระหว่างเม็ดดิน แต่พารามิเตอร์ของการวิบัติมีคุณสมบัติไอโซทร้อปปี้

3. จากการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของตัวอย่างในแนวดิ่งซึ่งสามารถวัดผลรวมของแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัวและแอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยความเค้น (เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลัก) ผลการทดลองแสดงว่าดินนี้มีคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของพารามิเตอร์ A_f และเอนเวอล้อปของการวิบัติที่ $(\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3)_{max}$ และการทดสอบที่ $\bar{\sigma}_{vc} = \bar{\sigma}_{vo}$ ให้ K_{SA} = 0.72 & 0.59 ที่ความลึก 4.50-5.00 และ 7.00-7.50 เมตร ตามลำดับ และที่ $\bar{\sigma}_{vc} > \bar{\sigma}_{vm}$ นั่นคือดินเป็นดินนอร์มัลลี่คอนโซลิเดท (NCC) มี K_{SA} = 0.75 และ 0.67 ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงว่า ความเค้นคอนโซลิเดชั่น ($\bar{\sigma}_{vc}$)หรือ stress history ไม่มีอิทธิพลต่อ K_{SA} มากนัก เมื่อทดสอบที่ค่า $K_c = \bar{\sigma}_{hc}/\bar{\sigma}_{vc}$ เดียวกัน

การทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ และ $\overline{CK_oUE}$ เป็นวิธีการวัดพฤติกรรมของแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนแบบอันเดรนได้ใกล้เคียงที่สุด เพราะครอบคลุมตัวปัญหาได้มากคือ แก้ไขการที่ตัวอย่างถูกรบกวน มีระบบความเค้นเหมือนธรรมชาติ วัดแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัว แอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยความเค้น (σ_1 หมุนไป 90^o จากแนวดิ่งสู่แนวราบ) และสอดคล้องใกล้เคียงกับกรณีของงานขุดและงานฐานรากทั่วไป

Thesis Title	Undrained Shear Strength Anisotropy of Soft Bangkok Clay
Name	Mr. Ruangdej Satawiriya
Thesis Advisor	Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Ph.D.
Department	Civil Engineering
Academic Year	1982

ABSTRACT

Anisotropy in undrained shear strength is a property of soft clay. This anisotropic property is created by the deposition nature of the clay, referred to as inherent anisotropy, and is induced by rotation of principal stress during the application of external stress, referred to as induce anisotropy.

The purposes of this study are:

1. To study the anisotropy in undrained shear strength behaviour of soft Bangkok clay.

2. To study the possible uses of simple laboratory testing for measuring anisotropy in undrained shear strength.

The soft Bangkok clay samples (CH material) were taken from Bangkok area at the depths of 4.50 and 7.00 m. in the open pit. These samples were later cut into small triaxial testing sample size at different sample inclinations, $\beta = 0^{\circ}$, 45° and 90° (β = angle between sample axis and in situ vertical direction). Samples from both depths also have somewhat similar index properties, different significantly only the value of the in situ effective vertical and horizontal stresses.

Testing programme for samples at both depths include:

1. Isotropically consolidated undrained triaxial compresssion tests ($\overline{CIUC}$ tests) on 0^{o}, 45^{o}, and 90^{o} sample using various values of $\bar{\sigma}_c$ and hence OCR ($\overline{CIU}$ test series);

2. Anisotropically consolidated undrained triaxial compression and extension tests ($\overline{CK_oUC}$ and $\overline{CK_oUE}$ tests) on vertical samples using $K_c = 0.65$ ($K_c = \bar{\sigma}_{hc}/\bar{\sigma}_{vc} \simeq K_o$) and various values of $\bar{\sigma}_{vc}$ to produce samples having different OCR ($\overline{CK_oU}$ test series); and

3. Unconsolidated undrained triaxial compression tests (UU tests) on 0^{o}, 45^{o} and 90^{o} samples in both remoulded and undisturbed condition.

$\overline{CK_oU}$ test series is used for approximatelv measuring both inherent and stress induced anisotropy, where as $\overline{CIU}$ and UU test series are used only for measuring inherent anisotropy.

Findings of the anisotropy in undrained shear strength behaviour of soft Bangkok clay from both depths are the followings.

1. Soft Bangkok clay exhibits anisotropy in undrained shear strength. The undrained shear strength at in situ effective stress decreases as β increases. The horizontal strengths (S_{uh}) from $\overline{CK_oUE}$ tests are between 0.6 to 0.7 of vertical strengths (S_{uv}) from $\overline{CK_oUC}$ tests. The anisotropy in undrained shear strength is due to the anisotropy in effective stress envelope and the anisotropy in pore water pressure or anisotropy in Skempton's A parameter at failure. The ratio of $\frac{S_{uh}}{S_{uv}}$ seems to be independent of OCR (OCR from 1.0 to 2.26) when the same K_c was used.

2. Increase in the magnitudes of isotropically consolidation stress destroys clay inherent anisotropy. Comparing test results among $\overline{CK_oU}$ and $\overline{CIU}$ test series yield that increasing values of $\bar{\sigma}_c$ leads to more isotropic undrained shear strength behaviour, especially when $\bar{\sigma}_c \geq \bar{\sigma}_{vm}$. Moreover, as anisotropy in undrained shear from $\overline{CIU}$ test series results from only anisotropy in pore pressure or A parameter at failure. This seems to indicate that the anisotropy in effective stress envelope as found in $\overline{CK_oU}$ test series is the result of induce anisotropy.

3. Sample disturbance destroys the anisotropy in undrained shear strength. Upon remolding, the clay shows isotropy in undrained shear strength from UU tests. Anisotropy was shown better in $\overline{CIUC}$ test series at $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo}$ than in UU tests on undisturbed samples.

Bangkok clay is so highly anisotropic that simple testing technique can not be used for measuring undrained shear strength anisotropy, as the effects of sample disturbance and isotropically consolidation stress significantly reduce clay anisotropy. Anisotropically consolidated undrained tests are, therefore, required for this purpose, e.g. $\overline{CK_oUC}$ and $\overline{CK_oUE}$ tests.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "แอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินอ่อนกรุงเทพฯ" ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งสอนอย่างทุ่มเท ให้คำปรึกษา สนันสนุนการวิจัยอย่างดียิ่ง อีกทั้งสนับสนุนด้านเงินทุนด้วย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์นี้ รวมกับอาจารย์ทุกท่านที่เคยให้ความรู้ อบรมสั่งสอนมาจนทุกวันนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ช

กิตติกรรมประกาศ ..... ญ

สารบัญตารางประกอบ ..... ฌ

สารบัญรูปประกอบ ..... ต

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 นิยาม 1

1.2 มูลเหตุของคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน 1

1.3 การนำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติ 2

2. ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต 7

2.1 หลักของความเค้นประสิทธิผล (The principle of effective stress) 7

2.2 พารามิเตอร์ของความดันน้ำระหว่างเม็ดดิน (Pore Pressure Parameters) 7

2.3 เอนเวอล้อปของการวิบัติ (Failure Envelope) 10

2.4 ทางเดินของความเค้นรวมและความเค้นประสิทธิผล (Total and Effective Stress Paths) 13

2.5 แอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนในดินเหนียว (Anisotropy in shearing resistance of clays) 19

2.5.1 การเกิดแอนไอโซทร้อปปี้ในมวลดิน 19

2.5.2 ทฤษฎีที่คาดคะเนความสัมพันธ์ของแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน 20

บทที่		หน้า
	2.5.3 การทดลองและศึกษาการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน	21
	2.5.4 การทดลองศึกษาถึงแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน	24
	2.6 การประยุกต์คุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนไปใช้ในทางปฏิบัติ	31
	2.6.1 การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักฐานราก (Bearing capacity determination)	31
3.	การทดลอง	34
	3.1 สถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง	34
	3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง	34
	3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ	36
	3.3.1 รายการทดสอบไตรแอ็กเซียล	36
	3.3.2 เครื่องมือทดสอบไตรแอ็กเซียล (Triaxial equipment)	40
	3.3.3 การเตรียมตัวอย่าง (Preparation of specimen) ..	41
	3.3.4 การจัดตัวอย่างเข้าที่ทดสอบ (Set-up of specimen) .	41
	3.3.5 การทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มน้ำ (Saturation of specimen)	42
	3.3.6 การคอนโซลิเดทตัวอย่าง	43
	3.3.6.1 การคอนโซลิเดทตัวอย่างแบบไอโซทร้อปปี้ ..	43
	3.3.6.2 การคอนโซลิเดทตัวอย่างแบบแอนไอโซทร้อปปี้	44
	3.3.7 การเพิ่มแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่าง (Shearing process)	46
	3.3.7.1 ตรวจสอบการตอบสนองของความดันน้ำระหว่างเม็ดดิน (check of pore pressure ... response)	46
	3.3.7.2 ตรวจสอบความเรียบร้อยของเยื่อบางรอบตัวอย่าง (check of membrance leakage)	46

บทที่ หน้า

3.3.7.3 การเพิ่มแรงเฉือนโดยการกดและดึงตัวอย่าง 46

ก. การทดสอบแบบ UU (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test) 46

ข. การทดสอบแบบ $\overline{CIUC}$ (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test) 48

ค. การทดสอบแบบ $\overline{CK_oUC}$ (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test) 48

ง. การทดสอบแบบ $\overline{CK_oUE}$ (Anistropically Consolidated Undrained Triaxial Extension Test) 49

3.4 การคำนวณผลการทดสอบ 49

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 52

4.1 คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของดินที่เก็บมาทำการทดลอง 52

4.2 การทดสอบคอนโซลิเดชั่น 53

4.3 การทดสอบไตรแอ็กเซียล 53

4.3.1 การทดสอบ UU และ UU-RE 53

4.3.2 การทดสอบ $\overline{CIUC}$ 60

4.3.2.1 ทางเดินของความเค้น 60

4.3.2.1.1 ทางเดินของความเค้นรวมและเอนเวอล้อปของการวิบัติ 60

4.3.2.1.2 ทางเดินของความเค้นประสิทธิผลและเอนเวอล้อปของการวิบัติ ... 63

4.3.2.2 พฤติกรรมของความเค้นเทียบกับ axial strain 71

บทที่ หน้า

4.3.2.2.1 ความเค้นดีวิเอเตอร์เทียบกับ axial strain 71

4.3.2.2.2 ความดันน้ำระหว่างเม็ดดินเทียบกับ axial strain 77

4.3.2.2.3 พารามิเตอร์ของความดันน้ำเทียบกับ axial strain ... 77

4.3.2.2.4 สัดส่วนความเค้นประสิทธิผลสูงสุด $(\frac{\bar{\sigma}_1}{\bar{\sigma}_3})$ เทียบกับ axial strain 84

4.3.2.3 บทสรุป 87

4.3.3 การทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ และ $\overline{CK_oUE}$ 88

4.3.3.1 ทางเดินของความเค้น 88

4.3.3.1.1 ทางเดินของความเค้นรวมและเอนเวอล้อปของการวิบัติ 88

4.3.3.1.2 ทางเดินของความเค้นประสิทธิผลและเอนเวอล้อปของการวิบัติ .. 92

4.3.3.2 พฤติกรรมของความเค้นเทียบกับ axial strain 95

4.3.3.2.1 ความเค้นดีวิเอเตอร์เทียบกับ axial strain 96

4.3.3.2.2 ความดันน้ำระหว่างเม็ดดินเทียบกับ axial strain 102

4.3.3.2.3 พารามิเตอร์ของความดันน้ำเทียบกับ axial strain 102

4.3.3.2.4 สัดส่วนความเค้นประสิทธิผลสูงสุด $(\frac{\bar{\sigma}_1}{\bar{\sigma}_3})$ เทียบกับ axial strain 102

บทที่ หน้า

4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบ 107

4.4.1 กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) 107

4.4.2 พารามิเตอร์ของความดันน้ำ (A_f) 109

4.4.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวและมุมเสียดทานในเทอมของความเค้นรวมและความเค้นประสิทธิผล 119

4.4.4 ดีกรีของแอนไอโซทร้อปปี้ (K_s) 121

5. สรุป 122

เอกสารอ้างอิง 128

ประวัติผู้เขียน 132

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

2.1 ผลการทดลองและศึกษาการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน 25

2.2 ข้อมูลการทดลองศึกษาแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน 27

3.1 รายการทดสอบไตรแอ็กเซียล ดินจากระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 37

3.2 รายการทดสอบไตรแอ็กเซียล ดินจากระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 38

4.1 คุณสมบัติทั่วๆ ไปของตัวอย่างดิน 52

4.2 ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Tests (UU) 56

4.3 Summary of $\overline{CIUC}$ Tests on Samples from 4.50-5.00 m. depth, stress-strain data 64

4.4 Summary of $\overline{CIUC}$ Tests on Samples from 7.00-7.50 m. depth, stress-strain data. 65

4.5 สรุปข้อมูลกับทิศทางของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 82

4.6 สรุปข้อมูลกับทิศทางของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 83

4.7 กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนสัมพัทธ์ของตัวอย่างแบบดิ่ง แบบเอียง 45^{0} และแบบราบของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 82

4.8 กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนสัมพัทธ์ของตัวอย่างแบบดิ่ง แบบเอียง 45^{0} และแบบราบของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 83

4.9 สรุปผลการทดสอบ $\overline{CK_{o}UC}$ & $\overline{CK_{o}UE}$ ของตัวอย่างจากระดับความลึก 4.50-5.00 และ 7.00-7.50 เมตร 91

4.10 ผลการทดสอบ $\overline{CK_{o}UC}$ & $\overline{CK_{o}UC}$ ของตัวอย่างจากระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 101

4.11 ผลการทดสอบ $\overline{CK_{o}UC}$ & $\overline{CK_{o}UC}$ ของตัวอย่างจากระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 101

ตารางที่ หน้า

4.12 พารามิเตอร์ของกำลังรับแรงเฉือนในเทอมของความเค้นประสิทธิผล ของการทดสอบดินเหนียวกรุงเทพ จากระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร และ 7.00-7.50 เมตร 120

4.13 ดีกรีของแอนไอโซทร้อปปี้ (K_s) ของการทดสอบ UU, CIUC, $\overline{CK_oUC}$ และ $\overline{CK_oUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 และ 7.00-7.50 เมตร 122

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

1.1 ลักษณะของความเค้นที่มากระทำเมื่อดินต้องรับแรงเฉือนแบบอันเดรนเนื่องจากหน่วยแรงหลักอยู่ในแนวดิ่งและเนื่องจากหน่วยแรงหลักอยู่ในแนวนอน 2

1.2 รูปแบบของการวิบัติและระบบความเค้นที่แสดงถึงการที่แอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนอาจถูกนำเข้ามาคิดในงานออกแบบ 3

1.3 ระบบความเค้นในตัวอย่างการทดสอบ Unconsolidated Undrained Compression Tests (UU) ของตัวอย่างในแนวดิ่ง แนวเอียง 45^{o} และแนวราบ 5

2.1 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์มอร์-คูลอมบ์ $\bar{c}$ และ $\bar{\phi}$ กับพารามิเตอร์ของการวิบัติ $\bar{a}$ และ $\bar{\alpha}$ 12

2.2 แบบต่าง ๆ ของทางเดินของความเค้นประสิทธิผล 15

2.3 ทางเดินของความเค้นรวมและประสิทธิผลของการทดสอบไตรแอ๊กเชียลแบบอันเดรน โดยคอนโซลิเดทแบบไอโซทร้อปปิคแล้วกดตัวอย่างโดยให้ความดันจากเซลล์คงที่ 17

2.4 ลักษณะต่าง ๆ ของทางเดินความเค้นรวมจากการทดสอบไตรแอ๊กเชียลแบบอันเดรน โดยที่ (ก) $\sigma_v = \sigma_h$ ตอนเริ่ม (ข) $\sigma_v > \sigma_h > 0$ ตอนเริ่ม 17

2.5 แสดงทางเดินของความเค้นประสิทธิผล เริ่มที่ $\bar{\sigma}_v = \bar{\sigma}_h = 0$ และ $\bar{\sigma}_1$ กับ $\bar{\sigma}_3$ เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่ 18

2.6 Theory for undrain shear strength starting from K_o condition 18

2.7 Elliptical strength plot for Anisotropic Clay Proposed by Davis and Christian 22

2.8 นิยามแอนไอโซทร้อปปี้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนโดยขึ้นกับทิศทางของหน่วยแรงหลักที่กระทำ 23

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนกับทิศทางที่แรงเฉือนกระทำ . 29

2.10 Bearing Capacity factor (N_c') V.S. a/b (Davis & Christian, 1971) 33

รูปที่ หน้า

3.1 การเจาะเก็บตัวอย่างแบบดิ่ง แบบราบและแบบเอียง 45^{0} 35

3.2 ความสัมพันธ์ของความต้านเชลล์กับน้ำหนักคงที่ที่สมดุลย์กับความต้านนั้น 45

3.3 รายละเอียดของการประกอบเครื่องมือสำหรับการทดสอบแบบดึงตัวอย่าง 47

4.1 พลอทของความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งกับ Void ratio ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 54

4.2 พลอทของความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งกับ Void ratio ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 54

4.3 ความสัมพันธ์ของความเค้นดีวิเอเตอร์กับ axial strain จากการทดสอบ Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Tests (UU) ของตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดและตัวอย่างที่ถูกคลุกเคล้าใหม่ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 57

4.4 ความสัมพันธ์ของความเค้นดีวิเอเตอร์กับ axial strainจากการทดสอบ Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Tests (UU) ของตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดและตัวอย่างที่ถูกคลุกเคล้าใหม่ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 58

4.5 ทางเดินของความเค้นรวมและเอนเวอล้อปของกำลังของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 61

4.6 ทางเดินของความเค้นรวมและเอนเวอล้อปของกำลังของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 62

4.7 ทางเดินของความเค้นประสิทธิผลของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 66

4.8 ทางเดินของความเค้นประสิทธิผลของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 67

4.9 เอนเวอล้อปของกำลังในเทอมของความเค้นประสิทธิผลของการทดสอบ $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_{o}UC}$ & $\overline{CK_{o}UE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 68

4.10 เอนเวอล้อปของกำลังในเทอมของความเค้นประสิทธิผลของการทดสอบ $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_{o}UC}$ & $\overline{CK_{o}UE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 69

รูปที่ หน้า

4.11 ความสัมพันธ์ของความเค้นดีวิเอเตอร์กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 72

4.12 ความสัมพันธ์ของความเค้นดีวิเอเตอร์กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 73

4.13 ความสัมพันธ์ $(\sigma_1-\sigma_3)/\bar{\sigma}_c$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 75

4.14 ความสัมพันธ์ $(\sigma_1-\sigma_3)/\bar{\sigma}_c$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 75

4.15 ความสัมพันธ์ Δu กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CICU}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 78

4.16 ความสัมพันธ์ Δu กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CICU}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 79

4.17 ความสัมพันธ์พารามิเตอร์ A กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 80

4.18 ความสัมพันธ์พารามิเตอร์ A กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 81

4.19 ความสัมพันธ์ $\bar{\sigma}_v/\bar{\sigma}_h$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 85

4.20 ความสัมพันธ์ $\bar{\sigma}_v/\bar{\sigma}_h$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 86

4.21 ทางเดินของความเค้นรวมและเอนเวอล้อปของกำลังของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 89

4.22 ทางเดินของความเค้นรวมและเอนเวอล้อปของกำลังของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 90

4.23 ทางเดินของความเค้นประสิทธิผลของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 93

รูปที่ หน้า

4.24 ทางเดินของความเค้นประสิทธิผลของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 94

4.25 ความสัมพันธ์ของความเค้นดีวิเอเตอร์กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 96

4.26 ความสัมพันธ์ของความเค้นดีวิเอเตอร์กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 97

4.27 ความสัมพันธ์ของ $q/\bar{\sigma}_{vc}$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 99

4.28 ความสัมพันธ์ของ $q/\bar{\sigma}_{vc}$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 100

4.29 ความสัมพันธ์ของ Δu กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 103

4.30 ความสัมพันธ์ของ Δu กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 104

4.31 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ A กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 105

4.32 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ A กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 106

4.33 ความสัมพันธ์ของ $\bar{\sigma}_v/\bar{\sigma}_h$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 108

4.34 ความสัมพันธ์ของ $\bar{\sigma}_v/\bar{\sigma}_h$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 109

4.35 ความสัมพันธ์ของ $\bar{\sigma}_h/\bar{\sigma}_v$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 110

4.36 ความสัมพันธ์ของ $\bar{\sigma}_h/\bar{\sigma}_v$ กับ axial strain ของการทดสอบ $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 111

รูปที่ หน้า

4.37 ความสัมพันธ์ของ S_u กับ β^o จากการทดสอบ UU, $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 112

4.38 ความสัมพันธ์ของ A_f กับ β^o จากการทดสอบ $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 112

4.39 ความสัมพันธ์ของ S_u กับ β^o จากการทดสอบ UU, $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 113

4.40 ความสัมพันธ์ของ A_f กับ β^o จากการทดสอบ $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 113

4.41 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนสัมพัทธ์กับความเค้นคอนโซลิเดชั่นของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 114

4.42 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนสัมพัทธ์กับความเค้นคอนโซลิเดชั่นของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 114

4.43 กำลังรับแรงเฉือนสัมพัทธ์ V.S. Plasticity Index, จากการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินอ่อนกรุงเทพระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร และ 7.00-7.50 เมตร และข้อมูลจาก LADD (1977) 116

4.44 ความสัมพันธ์ของ $S_{u\beta}/S_{uv}$ กับ β^o จากการทดสอบ UU, $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร 117

4.45 ความสัมพันธ์ของ $S_{u\beta}/S_{uv}$ กับ β^o จากการทดสอบ UU, $\overline{CIUC}$, $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร 117

4.46 ความสัมพันธ์ของดีกรีของแอนไอโซทร้อปปี้กับ OCR 122

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

A = พารามิเตอร์ของความดันน้ำระหว่างเม็ดดิน (pore pressure parameter)

A_o = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

A_c = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างภายหลังการคอนโซลิเดชั่น

A_f = พารามิเตอร์ของความดันน้ำระหว่างเม็ดดินขณะวิบัติ

a = ค่าของจุดตัดบนแกนกึ่ง (q) ขณะที่ $p = 0$ บนพลอทของ $p - q$

$\bar{a}$ = ค่าของจุดตัดบนแกนกึ่ง (q) ขณะที่ $\bar{p} = 0$ บนพลอทของ $\bar{p} - q$

B = พารามิเตอร์ของความดันน้ำระหว่างเม็ดดิน

c = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวรวม (Cohesion intercept in term of total stress)

$\bar{c}$ = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (Cohesion intercept in term of effective stress)

E_u = โมดูลัสแบบอันเดรน (Undrained modulus)

$E_{u\beta}$ = โมดูลัสแบบอันเดรนของตัวอย่างที่แกนทำมุม β^o ใด ๆ กับแนวดิ่งธรรมชาติ

e = Void ratio

G = ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

H = ตัวอย่างแบบราบ $\beta = 90^o$ (Horizontal sample)

INC = ตัวอย่างแบบเอียง $\beta = 45^o$ (Inclined sample)

K = สัมประสิทธิ์ของแรงดันทางด้านข้าง (Coefficient of lateral stress)

K_o = สัมประสิทธิ์ของแรงดันทางด้านข้างของดินตามธรรมชาติ (Coefficient of lateral stress at rest)

K_s = ดีกรีของแอนไอโซทร้อปปี้, แรงเฉือนแบบอันเดรนสัมพัทธ์ (Degree of anisotropy)

K_{SA} = K_s ของการทดสอบที่คอนโซลิเดทแบบแอนไอโซทร้อปปิค

K_{SI} = K_s ของการทดสอบที่คอนโซลิเดทแบบไอโซทร้อปปิค

L_1 = น้ำหนักสำหรับกดบนตัวอย่างระหว่างคอนโซลิเดชั่นแบบแอนไอโซทร้อปปิค

L_o = ความยาวของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

N_c = bearing capacity factor

N'_c = revised bearing capacity factor

p = ครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรองรวม (normal total stress)

$\bar{p}$ = ครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรองประสิทธิผล

$\bar{p}_f$ = $\bar{p}$ ขณะวิบัติ

q = กำลังรับแรงเฉือนสูงสุด (maximum shear stress)

q_f = q บน plane of maximum shear stress at failure

q_{ult} = ความสามารถในการรับความดันประลัย (ultimate bearing capacity)

S = สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of saturation)

S_u = กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน, แรงเฉือนแบบอันเดรน (Undrained shear strength)

S_{u-UND} = S_u ของตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด (Undistrubed sample)

S_{u-RE} = S_u ของตัวอย่างที่ถูกคลุกเคล้าใหม่ (Remolded sample)

$S_{u\beta}$ = S_u ของตัวอย่างที่แกนเอียงทำมุม β^o ใด ๆ กับแนวดิ่งธรรมชาติ

S_t = ความไว (Sensitivity)

u = ความดันน้ำระหว่างเม็ดดิน (pore water pressure)

V_o = ปริมาตรของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

w_f = ปริมาณความชื้นสุดท้าย (final water content)

w_i = ปริมาณความชื้นเริ่มแรก (initial water content)

w_L = liquid limit

w_n = ปริมาณความชื้นธรรมชาติ (natural water content)

w_p = plastic limit

ΔL_c = ความยาวที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการคอนโซลิเดชั่น

Δu = excess pore pressure

ΔV_c = ปริมาตรของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการคอนโซลิเดชั่น

$\Delta\sigma$ = ส่วนเปลี่ยนแปลงของความเค้น

$\Delta\sigma_a$ = $\Delta\sigma$ ตามแนวแกนของตัวอย่าง

$\Delta\sigma_L$ = $\Delta\sigma$ ทางด้านข้างของตัวอย่าง

$\bar{\alpha}$ = มุมลาดเอียงของเอนเวอล้อปของการวิบัติในเทอมของความเค้นประสิทธิผล (จากพลอทของ $\bar{p}_f - q_f$)

β = มุมระหว่างแกนของตัวอย่างกับแนวดิ่งธรรมชาติ

$\bar{\phi}$ = มุมเสียดทานประสิทธิผล (effective angle of shearing resistance)

σ = ความเค้นรวม (total stress)

$\bar{\sigma}$ = ความเค้นประสิทธิผล (effective stress)

σ_b = ความดันน้ำในตัวอย่าง (back pressure)

$\bar{\sigma}_c$ = ความเค้นคอนโซลิเดชั่นประสิทธิผล (effective consolidation pressure)

$\bar{\sigma}_{ac}$ = ความเค้นคอนโซลิเดชั่นตามแกนของตัวอย่าง

$\bar{\sigma}_{vm}$ = ความเค้นสูงสุดในอดีต (ในธรรมชาติ)

$\bar{\sigma}_{cm}$ = ความเค้นสูงสุดที่ตัวอย่างถูกกระทำ (ในห้องปฏิบัติการ)

$\bar{\sigma}_{vo}$ = ความเค้นทับถมประสิทธิผลในแนวดิ่ง (Vertical overburden pressure)

$\bar{\sigma}_{vc}$ = ความเค้นคอนโซลิเดชั่นตามแนวดิ่ง

$\bar{\sigma}_{ff}$ = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวรอยวิบัติขณะวิบัติ (effective normal stress on failure plane at failure)

$\bar{\sigma}_1$ = หน่วยแรงหลักประสิทธิผล (effective major principal stress)

$\bar{\sigma}_2$ = หน่วยแรงกลางประสิทธิผล (effective intermediate principal stress)

$\bar{\sigma}_3$ = หน่วยแรงรองประสิทธิผล (effective minor principal stress)

ε = axial strain

ε_f = axial strain at failure

UU = Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test

$\overline{CIUC}$ = Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test

$\overline{CK_oUC}$ = Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test

$\overline{CK_oUE}$ = Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Extension Test