

การศึกษาพฤติกรรมของภาวะแอนโคโนโทรปีในอันเดรนครีปองติน เหนียวอ่อนมากที่บางปู



นาย ชูชาติ เกียรติขจรกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

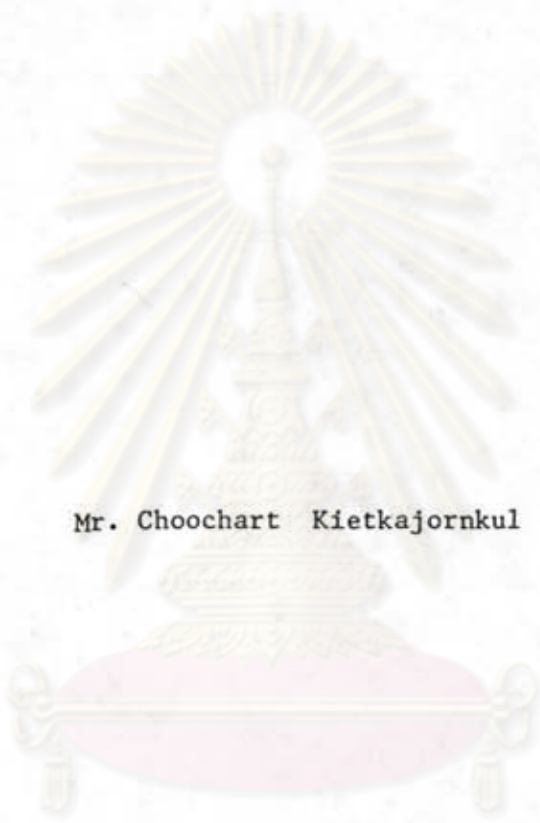
พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-771-8

010262

I 1553b142

Anisotropy in Undrained Creep Behavior of Very Soft
Sensitive Clay at Bang Poo



Mr. Choochart Kietkajornkul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมของภาวะแอมไอโซทรอปีในชั้นเตรนคริปของดินเหนียว
 อ่อนมากที่บางปู
 โดย นาย ชูชาติ เกียรติจรกุล
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... *สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์* คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
 (รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุณาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

วิเชียร เต็งอำนวย
 ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

..... *สุประดิษฐ์ บุณาค* กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุณาค)

..... *บุญสม เลิศศิโรตม์* กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิโรตม์)

..... *สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์* กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมของภาวะแอนไอโซทรอปิกในชั้นดินเหนียวอ่อนมากที่บางปู
ชื่อผลิต	นาย ชูชาติ เกียรติขจรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2527



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมแอนไอโซทรอปิกชั้นดินเหนียวอ่อนมาก โดยนำหมักกระทำในแนวตั้ง ($\beta=0^\circ$) และแนวนอน ($\beta=90^\circ$) ที่ระดับหน่วยแรงเฉือนต่าง ๆ กันของตัวอย่างดิน ศึกษาประวัติของหน่วยแรง (Soil Stress history) ที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพฤติกรรมชั้นดินเหนียว และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยกับผลที่ได้จากการวิจัยของสัมปติ (2525)

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยต่อเนื่องจากการวิจัยของ สัมปติ (2525) โดยนำตัวอย่างดินจากโครงการวางท่อกำลังน้ำเสียจากโรงงาน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ ที่คิดว่ามีอันตรายทางชั้นดินเหนียวมากกว่า เก็บตัวอย่างแบบกล่อง (Block Sample) ที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดที่ระดับความลึกประมาณ 3.25 เมตร ทำการวิจัยในสภาพหน่วยแรงของดินให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากกว่าของ สัมปติ (2525) โดยใช้เครื่อง Triaxial ซึ่งจะทำการอัดตัวคาน้ำกลับไปใหม่ (Reconsolidated) ของตัวอย่างดินทดลองที่มีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเปลี่ยนแปลงไปขณะเก็บตัวอย่าง ให้ไปอยู่ที่สภาวะตามธรรมชาติมากที่สุด โดยวิธีการทดลองแบบ CAUC ที่สภาวะ Overconsolidated ($OCR=2.4$) ที่ in situ condition โดยให้หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งสำหรับการอัดตัวคาน้ำ ($\bar{\sigma}_{vc}$) เท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vo}$) และที่สภาวะ Normally consolidated โดยให้ $\bar{\sigma}_{vc} = 1.5 \bar{\sigma}_{vm}$ สำหรับตัวอย่างในแนวตั้ง ($\beta=0^\circ$) และวิธีการทดลองแบบ CIUC สำหรับตัวอย่างดินทดลองในแนวนอน ($\beta=90^\circ$) ที่สภาวะ Overconsolidated ($OCR=2.4$) $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo}$ และสภาวะ Normally Consolidated โดยใช้ $\bar{\sigma}_c = 1.5 \bar{\sigma}_{vm}$

แล้วจึงทดสอบพฤติกรรมของอันเตรนครีพที่ระดับหน่วยแรงเฉือนต่าง ๆ กัน นอกจากนี้ยังวัดคุณสมบัติแอนไอโซทรอปี้ประจำตัว (inherent anisotropy) อย่างง่าย ๆ ของตัวอย่างดินบางปูในรูปของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนโดยวิธีการทดสอบแบบ UU สำหรับตัวอย่างดินที่มีแกนทำมุมกับแนวตั้ง $\beta=0^\circ$, 45° และ 90°

ผลการทดลองพบว่า ดินเหนียวอ่อนมากที่บางปูมีคุณสมบัติทางแอนไอโซทรอปี้จากการทดสอบแบบ UU กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนทางแนวตั้งมีค่ามากที่สุด และลดลงเมื่อค่า β เพิ่มขึ้น มีค่าดัชนีของแอนไอโซทรอปี้ (Degree of Anisotropy, $K_s = S_u(\beta)/S_u(v)$) เท่ากับ 0.771 และ 0.719 สำหรับ $\beta=45^\circ$ และ 90° ตามลำดับ และดินเหนียวบางปูแสดงพฤติกรรมของการ Normalized ได้ (Normalize Behavior) เมื่อใช้หน่วยแรงประสิทธิภาพในการอัดตัวคายน้ำสูง ๆ ($\bar{\sigma}_{vc} \gg \bar{\sigma}_{vm}$) ที่สภาวะ Normally Consolidated

กำลังครีพ (Creep Strength or Yield Value) จะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนที่ไม่คิดผลเนื่องจากครีพ และมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางที่แรงมากระทำ กำลังครีพในแนวนอนมีค่าต่ำกว่ากำลังครีพในแนวตั้ง แต่ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนมีมากกว่าในแนวตั้ง และเปอร์เซ็นต์ลดลงของกำลังรับแรงเฉือนไม่ขึ้นกับ OCR กำลังครีพในแนวตั้งมีค่าประมาณ 80% ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนเกือบเท่ากันสำหรับตัวอย่างดินรับแรงกระทำในแนวตั้งที่สภาวะ Overconsolidated และสภาวะ Normally Consolidated และเช่นเดียวกันกำลังครีพในแนวนอนมีค่าประมาณ 85% ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนสำหรับตัวอย่างดินรับแรงในแนวนอนที่สภาวะ Overconsolidated และสภาวะ Normally Consolidated (กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเตรนทางแนวนอนมีค่าน้อยกว่าทางแนวตั้ง)

ดินเหนียวอ่อนมากที่บางปู มีปัญหาทางด้านครีพ ทั้งตัวอย่างในแนวตั้ง และแนวนอนที่สภาวะ Overconsolidated และ Normally Consolidated พิจารณาได้จากค่าพารามิเตอร์ "m" (ความลาดของเส้นตรงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลา) มีค่าน้อยกว่า 1.0 คือ ที่สภาวะ Overconsolidated และ Normally Consolidated มีค่าพารามิเตอร์ "m" เท่ากับ 0.49 และ 0.39 สำหรับตัวอย่างดินรับแรงในแนวตั้ง และเท่ากับ 0.80 และ 0.68 สำหรับตัวอย่างดินรับแรงในแนวนอน ค่า m มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ OCR เพิ่มขึ้น แสดงว่าดินเหนียวที่สภาวะ Normally Conso-

lidated มีแนวโน้มที่จะเกิดการขีปติโดยครีพมากกว่าดินเหนียวที่ล่ภาวะ Overconsolidated จากการเปรียบเทียบดินป่พุมธาณิโดย ส่มปติ (2525) แล่ดงว่าระบบของหน่วยแรง (Stress System) ในการอ้ดตัวของน้ำฉิอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ "๓" มีมาก โดยท่ทำให้ค่าพารามิเตอร์ "๓" มีค่าล่น้อยลงไปมากเมื่อท่ทำการทดสอบแบบ CAUC ซึ่งเป็นล่ภาวะที่ไกล่เคียงธรรมชาติมาก

ในการคาดคะเนความเครียดที่เกิเกิดขึ้นในช่วงอันเตรนครีพโดยใช้เครื่อง Triaxial ในห้องทดลองโดยใช้ส่มการของ Singh และ Mitchell (1968), Semple (1973) แล่ Mesri et al (1981) สามารถคาดคะเนความเครียดได้ไกล่เคียงกับผลที่ได้จากการทดลอง อันเตรนครีพ ทั้งล่ภาวะ Overconsolidated แล่ Normally Consolidated ที่มีระดับหน่วยแรงเดือนต่ำกว่าก่่าส้งครีพ แต่ส่มการ Semple (1973) จะให้ค่าไกล่เคียงที่ล่สุด

ความเครียดที่ล่สุดวิกฤต (Critical Strain) เป็นความเครียดที่เกิเกิดขึ้นก่อนที่ตัว-อย่างจะเกิดการขีปติโดยครีพ จะมีค่าไกล่เคียงกับความเครียดที่ล่สุดขีปติจากการทดลองหาก่่าส้งรับแรงเดือนแบบอันเตรน ถ้าความเครียดของตัวอย่างช่วงอันเตรนครีพไกล่เคียงกับความเครียด ณ ล่สุดขีปติ แล่ดงว่การขีปติโดยอันเตรนครีพก่่าส้งจะเกิเกิดขึ้น

ค่าก่่าส้งรับแรงเดือนแบบอันเตรนที่ได้จากการทดสอบแบบ UU แล่ UC มีค่าต่ำกว่า ก่่าส้งครีพทางแนวตั้งแล่แนวนอนประมาณ 40% ถ้าใช้ก่่าส้งรับแรงเดือนจากการการทดสอบแบบ UU แล่ UC จะไม่เป็นการประหย้ดแต่ปลอดภัยทางด้านอันเตรนครีพ แล่ Shear Failure

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Anisotropy in Undrained Creep Behavior of Very Soft
 Sensitive Clay at Bang Poo

Name Mr. Choochart Kietkajornkul

Thesis Advisor Assistant Professor Surachat Samphandharaksa, Sc. D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1984



Abstract

The purpose of this research is to study anisotropy in undrained creep behavior of very soft sensitive clay subjected to vertical and horizontal loading at any stress levels. The research also includes the study of soil stress history effecting to the parameter of undrained creep behavior and the results are compared to those obtained by Sombat (1982).

This is a continuing study from Sombat (1982) by taking undisturbed block samples at the depth 3.25 meters from the waste water treatment plant, Bang Poo, Samutprakarn province. The vertical samples were anisotropically consolidated in triaxial cell to the vertical effective stress equal to effective overburden pressure ($\bar{\sigma}_{vo}$) ($OCR=2.4$) and equal to one point five of the maximum past pressure ($1.5 \bar{\sigma}_{vm}$) in normally consolidated state, the horizontal samples were isotropically consolidated in the same pressure as the vertical, prior to performing undrained creep tests at various stress level. The inherent anisotropy was also measured from UU test with axis inclined to the vertical at $\beta = 0^\circ, 45^\circ$ and 90° .

Very soft clay at Bang Poo exhibits anisotropy in undrained shear strength and normalized behavior for the high effective stress ($\bar{\sigma}_{vc} \gg \bar{\sigma}_{vm}$). The undrained shear strength at in situ condition decreases as β increases. The degree of anisotropy ($K_s = \frac{S_u(\beta)}{S_u(V)}$) equal to 0.771 for $\beta = 45^\circ$ and 0.719 for $\beta = 90^\circ$

Creep strength is lower than undrained shear strength. Horizontal creep strength is less than in the vertical, but the percentage of decreasing in vertical creep strength is much more and independent of OCR. Vertical creep strength is 80% and horizontal creep strength is 85% of undrained shear strength for overconsolidated and normally consolidated state in each direction.

This clay is the creep susceptible material as the value of "m" parameter (slope of linear portion from graph between logarithm of strain rate versus logarithm of time) was lower than 1.0, showing only 0.49, 0.39 in vertical direction and 0.80, 0.68 in horizontal for overconsolidated and normally consolidated state. Parameter "m" increases as OCR increases. It shows that normally consolidated state tends to failure by undrained creep more than overconsolidated. This result is compared to Sombat (1982), it indicates that stress system is influence "m" parameter.

Strain-Time relationship during undrained creep can be estimated by Singh and Mitchell (1968), Semple (1973), Mesri et al (1981)'s equation for overconsolidated and normally consolidated state in lower Creep strength. Semple's equation (1973), is the best for predicting strain during undrained creep.

Critical strain happens before sample failure by undrained creep. It is about failure strain (ϵ_f) from undrained shear test. If

strain during undrained creep is near failure strain, it tends to be failure by undrained creep.

Undrained shear strength from UU and UC Test are lower than creep strength in each direction about 40%. If they are used in design, it won't be economic but conservative in undrained creep and shear failure.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุระฉัตร สัมพันธ์ราษฎร์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ทั้งทางทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้านทุนการศึกษา และการตรวจสอบ แก่ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศพิชญวงศ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องวิจัย ตลอดจน คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบ แก่ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม

ในการเก็บตัวอย่างดินทดลอง ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณ นิวัฒน์ ไชยโตะชะ ที่ได้ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างดิน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปลูกข้าวกล้า เจ้าหน้าที่ป้องกันปฏิบัติการโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา เพื่อนและน้องๆ ที่ได้ช่วยเหลือร่วมมือเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุด ผู้เขียนปรารถนาที่จะแสดงความรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุน และกำสัจใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาในระดับนี้

ชูชาติ เกียรติขจรกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ย
กิตติกรรมประกาศ	ญ
สารบัญ	ฉ
รายการตารางประกอบ	ด
รายการรูปประกอบ	ต
สัญญาสังขณ	พ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 การสำคัยหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้ ..	5
2. ทฤษฎีและบททวนงานในอดีต	6
2.1 งานในอดีตเกี่ยวกับแอนไอโซทรอปี่	6
2.1.1 แอนไอโซทรอปี่และผลกระทบของหน่วยแรงต่อ พฤติกรรมขณะอันเตรน (Anisotropy and Effect of Stress on Undrained Behavior)	6
2.1.2 สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of Earth Pressure at Rest, K_0)	17
2.2 งานในอดีตเกี่ยวกับอันเตรนครีพ (Undrained Creep)	
2.2.1 ทัวไป	25
2.2.2 ผลกระทบของครีพต่อค่ากำลังรับแรงเฉือน	33

2.2.2.1	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรณลดลง หลังเกิดอันเดรณครีฟ.....	33
2.2.2.2	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรณคงที่ และเพิ่มขึ้นหลังเกิดอันเดรณครีฟ.....	35
2.2.3	การคาดคะเนเวลาที่เกิดการพิบัติโดยอันเดรณครีฟ (Predicting the Time to Failure)....	36
2.2.4	ความดันน้ำในโพรง (Pore water Pressure) ระหว่างอันเดรณครีฟ.....	47
2.2.5	ผลของส่วนประกอบของดิน (Effect of Com- position).....	51
2.2.6	ผลของอุณหภูมิต่ออันเดรณครีฟ (Effect of Temperature).....	52
2.2.7	ผลของระบบหน่วยแรงในดิน (Effect of Stress System).....	55
3.	การทดลอง.....	58
3.1	ลักษณะทั่วไปของดินกรุงเทพฯ.....	58
3.2	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างทดลอง.....	58
3.2.1	สถานที่เก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง.....	58
3.2.2	วิธีการเก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง.....	60
3.3	การหาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง...	60
3.4	ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	62
3.4.1	โปรแกรมของการทดลองในการวิจัย.....	62
3.4.2	เครื่องมือที่ใช้ทดลอง.....	66
3.4.3	การเตรียมตัวอย่างดินทดลองในเครื่อง Triaxial	67
3.4.4	การใส่ตัวอย่างเข้าที่ทดสอบ (Set-up of Specimen).....	67
3.4.5	การทำให้ตัวอย่างดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation of Specimen).....	68

บทที่

สารบัญ (ต่อ)

๕

หน้า

3.4.6	การอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดิน.....	69
3.4.6.1	การอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Consolidation)	69
3.4.6.2	การอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic Consolidation)	69
3.4.7	การทดสอบตัวอย่างดิน.....	73
3.4.7.1	การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของตัวอย่าง ที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิกมา ก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพ อิ่มตัวพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรง ดิน (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, CIUC Test).....	73
3.4.7.2	การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของตัวอย่าง ดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิก มาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพ อิ่มตัวพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measure- ment, CAUC, CK ₀ UC Test).....	74
3.4.7.3	การทดสอบอันไครนคริพ (Undrained Creep Test).....	
3.4.7.4	การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัด ตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพอันไครนด้วย Triaxial, (UU Test).....	76

บทที่

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.7.5	การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบอิสระด้านข้าง (Unconfined Compression Test, UC Test)	77
3.5	การคำนวณผลการทดลอง	77
3.5.1	การทดลองแบบ UU.....	77
3.5.2	การทดลองแบบ \overline{CIUC}	77
3.5.3	การทดลองแบบ \overline{CAUC}	78
3.5.4	การทดลองแบบอันเดรนครีฟ,	78
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1	การทดลองหาค่าคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินทดลอง.	79
4.2	การทดลองกำลังรับแรงเฉือนอันเดรนครีฟเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทรอปี้	79
4.2.1	การทดลองกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบอิสระด้านข้าง (Unconfined Compression Test, UC).....	80
4.2.2	การทดลองกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพอันเดรนครีฟ (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test, UU).....	82
4.2.3	การทดลองกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปี้มาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนครีฟพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรง (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, \overline{CIUC})	86

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.2.3.1 พฤติกรรมของหน่วยแรงกับความเครียด	88
	4.2.3.2 ความดันน้ำในโพรง (Δu) กับความ- เครียด.....	91
	4.2.3.3 พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรง (A) เทียบกับความเครียด.....	93
	4.2.3.4 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path) และ เอนVELOPE ของหน่วยแรงประสิทธิผล ที่คงที่ (Effective Stress Envelope at Failure).....	93
	4.2.4 การทดลองกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคาย น้ำแบบแอนไอโซทรอปิกมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพหนึ่งแตรนพร้อมวัดความดันน้ำ ในโพรง (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, CAUC, CK_{UC} Test).....	94
	4.2.4.1 พฤติกรรมของหน่วยแรงกับความเครียด	94
	4.2.4.2 ความดันน้ำในโพรง (Δu) กับความ เครียด.....	96
	4.2.4.3 พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรง (A) เทียบกับความเครียด.....	97
	4.2.4.4 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path) และ เอนVELOPE ของหน่วยแรงประสิทธิผล ที่คงที่ (Effective Stress Envelope at Failure).....	97

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.3 การทดลองอันตรนครีฟ.....	100
	4.3.1 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในระหว่างเกิด อันตรนครีฟ.....	107
	4.3.2 การคาดคะเนกำลังครีฟ.....	108
	4.3.3 พฤติกรรมของหน่วยแรง-ความเครียดและเวลา (Stress-Strain-Time) ในระหว่างอันตรนครีฟ	117
	4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความตึงน้ำใน โพรงกับเวลาในระหว่างทดลองอันตรนครีฟ.....	141
	4.3.5 การคาดคะเนเวลาถึงพิบัติโดยอันตรนครีฟ.....	157
	4.3.6 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของดินปทุมธานี (ลุ่มปัด, 2525) กับดินบางปู	161
5.	บทสรุปและแนะนำการวิจัยขั้นต่อไป	167
	5.1 บทสรุป	167
	5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยขั้นต่อไป	170
เอกสารอ้างอิง		172
ประวัติผู้เขียน		177

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของ Manglerud Quick Clay จากการทดลองต่างชนิดกัน (Bjerrum, 1973).....	9
2.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงหลักของแอนไอโซทรอปียองกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (Ladd, 1971).....	13
2.3	การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จาก Triaxial Compression, Triaxial Extension, Direct Simple Shear และ in-situ vane test ของดินเหนียวอ่อน (Bjerrum, 1973).....	15
2.4	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านด้านข้างของดิน ณ สภาวะสมดุล (K_0) กับความลึกของดินรังสิต (Supachai, 1982).....	24
2.5	แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านด้านข้างของดิน ณ สภาวะสมดุล (K_0) จากสูตร Empirical ที่ความลึกต่าง ๆ ของดินรังสิต.....	26
3.1	โปรแกรมของการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน.....	63
3.2	โปรแกรมของการทดลองศึกษาพฤติกรรมของอันเดรนครีฟ.....	84
4.1	คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง.....	79
4.2	ตัวอย่างดินสำหรับการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน	81
4.3	ตัวอย่างดินสำหรับการทดลองอันเดรนครีฟในเครื่อง Triaxial	103
4.4	การประมาณค่ากำลังครีฟ.....	114
4.5	แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินบางปูและดินปทุมธานี.....	163
4.6	แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินบางปูและดินปทุมธานีจากวิธีการทดลองต่าง ๆ.....	164
4.7	แสดงผลการทดลองอันเดรนครีฟของตัวอย่างดินบางปูและดินปทุมธานี...	165

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงทิศทางการตัดตัวของหน่วยแรงหลัก ณ จุดกึ่งปิตีของคันดิน (Duncan; Seed, 1966).....	2
1.2	ความสัมพันธ์ของค่าแอมไโอไรท์รอปปีของกำลังรับแรงเฉือนแบบ อันเตรนจากการทดลอง UU Test (Ladd et al, 1977)	2
2.1	ผลของการทดลองแบบ \overline{CIUC} Test กับตัวอย่างดินในแนวตั้งและ แนวนอนของ Overconsolidated Kaolinite (Duncan; Seed, 1966a)	2 11
2.2	การเปรียบเทียบผลของการทดลอง $\overline{CK}_O\overline{U}$ Plane Strain . Active กับ Passive ของ Boston Blue Clay (Ladd, 1971)	12
2.3	ผลของแอมไโอไรท์รอปปี เนื่องจากระบบของหน่วยแรงที่กระทำ (Stress system induced Anisotropy) จากการทดลอง $\overline{CK}_O\overline{U}$ Plane Strain Shear Test)	16
2.4	ความสัมพันธ์ของ S_u กับ β^0 จากการทดลอง UU, \overline{CIUC} , $\overline{CK}_O\overline{UC}$ & $\overline{CK}_O\overline{UE}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร (เรื่องเศษ, 2525)	18
2.5	ความสัมพันธ์ของ A_f กับ β^0 จากการทดลอง \overline{CIUC} , $\overline{CK}_O\overline{UC}$ ของดินระดับความลึก 7.00-7.50 เมตร (เรื่องเศษ, 2525)	18
2.6	ความสัมพันธ์ของ S_u กับ β^0 จากการทดลอง UU, \overline{CIUC} , $\overline{CK}_O\overline{UC}$ & $\overline{CK}_O\overline{UE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร (เรื่องเศษ, 2525)	19
2.7	ความสัมพันธ์ของ A_f กับ β^0 จากการทดลอง \overline{CIUC} , $\overline{CK}_O\overline{UC}$ & $\overline{CK}_O\overline{UE}$ ของดินระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร	19
2.8	ความสัมพันธ์ของ K_o ของ Normally Consolidated Clays กับมุมเสียดทานภายในประสิทธิผล, $\bar{\phi}(a)$ และ Plasticity Index (b)	21

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.9	ความสัมพันธ์ของ K_0 กับ OCR ของ Haney Sensitive Clay ระหว่างการ Unloading และ Reloading (Campanella และ Vaid, 1972)	22
2.10	ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ m ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ K_0 และ OCR กับ Plasticity Index (Ladd et al, 1977)	22
2.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ α ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับ Liquid Limit (Sherif, 1981)	27
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลา	30
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ฐาน e ของอัตราความเครียดกับระดับหน่วยแรงเฉือน	30
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลา	32
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ฐาน e ของความเครียดกับระดับหน่วยแรงเฉือน	32
2.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเครียดอ้างอิง (Reference Strain, ϵ_R) (Mesri et al, 1981)	34
2.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดหลังเกิดครีพ (Mitchell, 1976)	34
2.18	ความสัมพันธ์ระหว่าง Creep Rupture Life กับความเครียด (Saito; Uezawa, 1961)	38
2.19(a)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) หลังก้ำสักรีพ (Shibata และ Karube, 1969)	40
2.19(b)	กราฟแสดงอิทธิพลของอัตราของหน่วยแรงที่เพิ่มของทางเดินของหน่วยแรงหลังก้ำสักรีพ (Shibata และ Karube, 1969)	40

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.20	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเครียด x เวลา กับ เวลา (Singh และ Mitchell, 1969)	42
2.21	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียด กับ Logarithm ของเวลาของดินเหนียวชั้นดี (Finn และ Shead, 1973)	42
2.22	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียด กับ Logarithm ของเวลาครีพของดินเหนียวชั้นดี (Finn และ Shead, 1973)	43
2.23	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดเร่ง กับ Logarithm ของเวลาที่เกิดการพิบัติ (Finn และ Shead, 1973)	43
2.24	กราฟแสดงการหาค่าสังครีพ (Finn และ Shead, 1973)	46
2.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเครียดและความตึงน้ำในโพรงกับ Logarithm ของเวลา (Walker, 1969b)	48
2.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความตึงน้ำในโพรงกับเวลา (Arulanandan et al, 1971)	50
2.27	ผลของปริมาณดินเหนียวต่ออัตราความเครียด	52
2.28	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินเหนียว, Plasticity Index และอัตราความเครียด	52
2.29	ผลของจุดเหตุมีต่อพฤติกรรมอันตรรกครีพ เมื่อดินรับหน่วยแรงเพียง เบนค่าคงที่ (Mitchell และ Campanella, 1963)	53
2.30	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเครียดกับหน่วยแรงเพียงเบน ระหว่างอันตรรกครีพ เมื่อจุดเหตุมีคงที่ (Mitchell และ Campanella, 1963)	54

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.31	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดตามแกนกับเวลา ครีพของดินเหนียว ชั้นดี เมื่ออัดตัวคายน้ำในแบบไอโซทรอปิก และ K_0 -แอนไอโซทรอปิก โดยใช้เครื่อง Triaxial และ Plane Strain (Campanella และ Vaid, 1974)	57
3.1	แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินทดลอง	59
3.2	แสดงความสัมพันธ์ของความดันในเซลล์กับน้ำหนักคงที่	72
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเพียงเบงกับความเครียดจากการทดลอง แบบ UC	83
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเพียงเบงกับความเครียดจากการทดลอง แบบ UU	85
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนแบบอินเทรน (S_u) จากการ ทดลอง UU และ UC กับมุม β	87
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3}{\bar{\sigma}_c}$, $\frac{\Delta u}{\bar{\sigma}_c}$, A กับความเครียดเมื่อดิน รับแรงในแนวนอนจากการทดลอง CIUC	89
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3}{\bar{\sigma}_{vc}}$, $\frac{\Delta u}{\bar{\sigma}_{vc}}$, A กับความเครียดเมื่อดิน รับแรงในแนวตั้งจากการทดลอง CAUC	90
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Normalized Undrained Shear Strength $(\frac{S_u}{\bar{\sigma}_{vc}}, \frac{S_u}{\bar{\sigma}_c})$ กับ OCR	92
4.7	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลเมื่อดินรับแรงในแนวนอน ณ สภาวะ Overconsolidated	95
4.8	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลเมื่อดินรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Overconsolidated	98

รายการประกอบรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลเมื่อคืนรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Normally Consolidated	99
4.10(a)	เอนเวเนลอปของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ปกติที่สภาวะ Overconsolidated และ Normally Consolidated ของตัวอย่างในแนวตั้งและแนวนอน	101
4.10(b)	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{q}{\sigma_{vm}}$ และ $\frac{\bar{p}}{\sigma_{vm}}$ ของตัวอย่างในแนวตั้งและแนวนอน	101
4.11	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในระหว่างอันเดรนครีฟ เมื่อคืนรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated	103
4.12	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในระหว่างอันเดรนครีฟเมื่อคืนรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated	104
4.13	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในระหว่างอันเดรนครีฟ เมื่อคืนรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated	105
4.14	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในระหว่างอันเดรนครีฟ เมื่อคืนรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated	106
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อคืนรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4) จากการทดลอง \overline{CAUC}	109
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อคืนรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0) จากการทดลอง \overline{CAUC}	110

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	การคาดคะเนค่ากำลังครีพโดยวิธีของ Finn และ Shead(1973) เมื่อดินรับหน่วยแรงเฉือนค่าคงที่ในแนวตั้ง ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	112
4.18	การคาดคะเนค่ากำลังครีพโดยวิธีของ Finn และ Shead(1973) เมื่อดินรับหน่วยแรงเฉือนค่าคงที่ในแนวตั้ง ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	113
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรง เฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated(OCR=2.4)	115
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรง เฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated(OCR=1.0)	116
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับระดับ หน่วยแรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	120
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับระดับ หน่วยแรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Normally Consolidated Clay (OCR=1.0)	121
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับหน่วย แรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	122
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับระดับ หน่วยแรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวนอน ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	123

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated Clay (OCR=2.4)	125
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated Clay (OCR=1.0)	126
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลา เมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated Clay (OCR=2.4)	127
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	128
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับระดับหน่วยแรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	131
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับหน่วยแรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	132
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับหน่วยแรงเฉือนเมื่อดินรับแรงในแนวนอน ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	133
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับระดับหน่วยแรงเฉือน เมื่อดินรับแรงในแนวนอน ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	134
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	137



รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (Mesri et al, 1981)	138
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4) (Mesri et al, 1981)	139
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลาเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (Mesri et al, 1981)	140
4.37	ความสัมพันธ์ของค่า m พารามิเตอร์ของ Singh & Mitchell เทียบกับ OCR	142
4.38	ความสัมพันธ์ของค่า λ พารามิเตอร์ของ Semple (1973) เทียบกับ OCR	143
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลาในระหว่างอันเดรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Over-consolidated (OCR=2.4)	144
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลาในระหว่างอันเดรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	145
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลาในระหว่างอันเดรนครีฟ เมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	146
4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลาในระหว่างอันเดรนครีฟ เมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	147

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.43	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับ Logarithm ของเวลาในระหว่าง อันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	148
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับ Logarithm ของเวลาในระหว่าง อันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	149
4.45	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับ Logarithm ของเวลาในระหว่าง อันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	150
4.46	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับ Logarithm ของเวลาในระหว่าง อันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	151
4.47	ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงน้ำในโพรงกับ Logarithm ของเวลาใน ระหว่างอันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่า ต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	152
4.48	ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงน้ำในโพรงกับ Logarithm ของเวลาใน ระหว่างอันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวตั้งที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่า ต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	153
4.49	ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงน้ำในโพรงกับ Logarithm ของเวลาใน ระหว่างอันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่า ต่าง ๆ ณ สภาวะ Overconsolidated (OCR=2.4)	154
4.50	ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงน้ำในโพรงกับ Logarithm ของเวลาใน ระหว่างอันตรนครีฟเมื่อดินรับแรงในแนวนอนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนค่า ต่าง ๆ ณ สภาวะ Normally Consolidated (OCR=1.0)	155
4.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\Delta u}{u}$ กับระดับหน่วยแรงเฉือน	158

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.52	เส้นแสดงอัตราความเครียดต่ำสุดชั่วคราว ตามวิธีของ Finn และ Shead (1973) เมื่อตัวอย่างดินรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Overconsolidated	159
4.53	เส้นแสดงอัตราความเครียดต่ำสุดชั่วคราว ตามวิธีของ Finn และ Shead (1973) เมื่อตัวอย่างดินรับแรงในแนวตั้ง ณ สภาวะ Normally Consolidated	160
4.54	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เหลือก่อนการหุบดินโดยครีฟกับอัตราความเครียด (จาก SAITO และ UEZAWA, 1961)	162



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สัญลักษณ์

(ก) สำหรับฟังก์ชันครีพ

 a = ค่าคงที่จากการอินทิเกรตฟังก์ชันครีพ A = ค่าที่ได้จากการต่อกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ฐาน e ของอัตราส่วนความเครียดกับค่าระดับหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เป็นเส้นตรงเมื่อเวลา $t = t_1$ (1 นาที) มาตัดแกนของอัตราความเครียดเมื่อระดับหน่วยแรงเฉือนมีค่าเท่ากับศูนย์ B = ค่าที่ได้จากการต่อกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ฐาน e ของความเครียดกับค่าระดับหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เป็นเส้นตรงเมื่อเวลา $t = t_1$ (1 นาที) ตัดแกนของความเครียดเมื่อระดับหน่วยแรงเฉือนมีค่าเท่ากับศูนย์ D = หน่วยแรงเฉียงเบน (Deviator Stress) = $\sigma_1 - \sigma_3$ \bar{D}, Δ = ระดับหน่วยแรงเฉือน (Stress Level) = $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2S_u}$ D_{max} = ค่าสูงสุดของหน่วยแรงเฉียงเบน m = ความลาดของเส้นตรงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลา R_f = อัตราส่วนของ $\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}}$ λ = ความลาดของเส้นตรงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลา λ' = ความลาดของเส้นตรงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดทั้งหมดกับ Logarithm ของเวลา $\bar{\alpha}$ = ความลาดของส่วนที่เป็นเส้นตรงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ฐาน e ของอัตราความเครียดกับค่าระดับหน่วยแรงเฉือน β' = ความลาดของส่วนที่เป็นเส้นตรงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ฐาน e ของความเครียดกับค่าระดับหน่วยแรงเฉือน

- ϵ = ความเครียด (Strain)
- ϵ_1 = ความเครียดเมื่อเวลา 1 หน่วย (1 นาที)
- ϵ_R = ความเครียด ณ จุดอ้างอิง (Reference Strain)
- ϵ^0 = อัตราความเครียด (Strain Rate)
- ϵ_a^0 = อัตราความเครียดเร่ง (Accelerating Strain Rate)
- ϵ_m^0 = อัตราความเครียดต่ำสุดชั่วครู่ (Transient Minimum Strain Rate)
- t = เวลาใด ๆ
- t_1 = 1 หน่วยเวลา เช่น 1 นาที, 1 ชั่วโมง
- t_e = เวลาที่เกิดอัตราความเครียดต่ำสุดชั่วครู่
- t_f = เวลาถึงพิบัติ (Time to Failure)
- t_r = เวลาที่เหลือก่อนการพิบัติโดยครีพ (Remaining Time to Rupture)

(ข) สัญลักษณ์อื่น ๆ

- A, B = พารามิเตอร์ของความตึงน้ำในโพรงของ Skempton
- A_f = พารามิเตอร์ของความตึงน้ำในโพรง ณ จุดพิบัติ
- \bar{a} = ค่าที่เส้นเอนเวอล็อปของหน่วยแรงประสิทธิผลที่พิบัติตัดแกน q จาก $\bar{p} - q$ plot
- \bar{c} = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล
- E_u = โมดูลัสแบบอิ่มตัว (Undrained Modulus)
- H = ตัวอย่างทางแนวราบ $\beta = 90^\circ$ (Horizontal Sample)
- INC = ตัวอย่างทางแนวเอียง $\beta = 45^\circ$ (Inclined Sample)
- K = สัมประสิทธิ์ของแรงดันทางด้านข้าง (Coefficient of Lateral Stress)
- K_0 = สัมประสิทธิ์ของแรงดันด้านข้าง ณ สภาวะลุ่มมูลย์ (Coefficient of Earth pressure at Rest)
- K_s = ดัชนีของแอนไอโซทรอปี (Degree of Anisotropy)
- $\bar{p} = \frac{\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3}{2}$
- $\bar{p}_f = \bar{p}$ ณ จุดพิบัติ

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$q_f = q \text{ ณ จุดพิบัติ}$$

$$S_u = \text{กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน}$$

$$S_u(\beta) = S_u \text{ ของตัวอย่างที่แกนเอียงทำมุม } \beta \text{ ใด ๆ กับแนวตั้งตามธรรมชาติ}$$

$$S_t = \text{ความไว (Sensitivity)}$$

$$U = \text{ความดันน้ำในโพรง (Pore Water Pressure)}$$

$$U_b = \text{ความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรก (Back Pressure)}$$

$$w_f = \text{ปริมาณความชื้นท้ายสุด (Final water content)}$$

$$w_i = \text{ปริมาณความชื้นเริ่มแรก (Initial water content)}$$

$$w_L = \text{ขีดเหลว (Liquid Limit)}$$

$$w_n = \text{ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural water content)}$$

$$\Delta u = \text{Excess Pore Pressure}$$

$$\Delta \sigma = \text{ส่วนเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรง}$$

$$\bar{\alpha} = \text{มุมลาดเอียงเส้นเอนเวล็อปของหน่วยแรงประสิทธิภาพที่พล็อตจาก } \bar{p}-q \text{ plot}$$

$$\beta = \text{มุมระหว่างแกนของตัวอย่างกับแนวตั้งธรรมชาติ}$$

$$\bar{\phi} = \text{มุมเสียดทานประสิทธิภาพ (Effective angle of shearing resistance)}$$

$$\sigma = \text{หน่วยแรงรวม (Total Stress)}$$

$$\sigma_{1f} = \text{หน่วยแรงหลัก ณ จุดพิบัติ (Major Principal Stress)}$$

$$\sigma_{3f} = \text{หน่วยแรงรอง ณ จุดพิบัติ (Minor Principal Stress)}$$

$$\sigma_{vo} = \text{หน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ (Total Overburden Pressure)}$$

$$\sigma_c = \text{ความดันในเซลล์ (Cell Pressure)}$$

$$\bar{\sigma}_c = \text{ความดันประสิทธิภาพในเซลล์ (Effective Cell Pressure)}$$

$$\bar{\sigma}_{vc} = \text{หน่วยแรงประสิทธิภาพในแนวตั้ง (Effective Vertical Stress)}$$

$$\bar{\sigma}_{hc} = \text{หน่วยแรงประสิทธิภาพในแนวนอน (Effective Horizontal Stress)}$$

$$\bar{\sigma}_{vm} = \text{หน่วยแรงกับถมสูงที่สุดในอดีต (Maximum Past Pressure)}$$

- ϵ_f = ความเครียด ณ จุดพิบัติ
- PI = Plasticity Index
- OCR = Over Consolidation Ratio
- γ_T = ความหนาแน่น (Total Density)

(ค) ชนิดของการทดลอง

$\overline{CAUC}, \overline{CK}_0UC$ = การหาค่ารับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิกมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอิ่มตัวพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรง (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement)

\overline{CIUC} = การหาค่ารับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิกมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอิ่มตัวพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรง (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement)

UU = การหาค่ารับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพอิ่มตัว (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)

UC = การหาค่ารับแรงเฉือนของดินแบบอิสระด้านข้าง (Unconfined Compression Test)