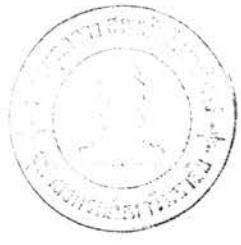
การเปรียบเทียบข้อมูลการยุบตัวของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองที่ได้จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน



นาย ไพบูลย์ วิภูษณะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-478-1

008819

I16811365

COMPARISON OF SOFT DONMUANG CLAY COMPRESSIBILITY DATA FROM TRIAXIAL AND CONSOLIDATION TESTS

Mr. Paiboon Vipoosana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบข้อมูลการยุบตัวของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองที่ได้จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน
โดย	นาย ไพบูลย์ วิภูษณะ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ม เลิศหิรัญวงศ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบข้อมูลการยุบตัวของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองที่ได้จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน
ชื่อนิสิต	นายไพบูลย์ วิภูษณะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัตร สัมพันธารักษ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2527

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง ทางด้านการทรุดตัว โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้ระหว่างวิธีการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน นอกจากนั้น ยังศึกษาผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักและระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักจากวิธีการทดลอบดังกล่าว และศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของดินระหว่างวิธีการทดลอบแบบไอโซทรอปิค และแอนไอโซทรอปิค (K_o) ในเครื่องมือไตรแอกเซียล อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก ($\Delta P/P$) ที่ใช้ในการทดลอบเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 และระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ t_{100}, 90 นาที , 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง โดยไม่มีการวัดแรงดันน้ำในโพรงดิน

ดินตัวอย่างที่นำมาทดลอบเป็นดินเหนียวอ่อนที่ไม่ถูกรบกวน เก็บที่หมู่บ้านปิ่นเจริญ ดอนเมือง ที่ระดับความลึก 5.40 - 5.70 เมตร

จากการศึกษาเปรียบเทียบการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชันของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง ซึ่งเป็น Sensitivity clay พบว่า ในช่วง NC Coefficient of compressibility (a_v) มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 วิธี แต่ในช่วง OC ค่า C_{v1} ซึ่งได้จากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชันมีค่าประมาณ 3 เท่า C_{v3} ซึ่งได้จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล Primary compression ratio (r) ซึ่งได้จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียลมีค่าสูงกว่าจากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน ประมาณ 20 % ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงสูงสุดในอดีตที่ได้จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียลเท่ากับ 0.83 กก./ตร.ซม. และจากการทดลอบ

แบบคอนโซลิเดชันเท่ากับ 0.86 กก./ตร.ซม.

ผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักซึ่งให้ผลเหมือนกันทั้ง 2 วิธี มีดังนี้ (i) เมื่อ LIR สูงขึ้น ทำให้ค่า C_v เพิ่มขึ้นในช่วง OC แต่ทำให้ค่า r ลดลงในช่วง OC (ii) เมื่อ LIR = 0.5 ในช่วง NC และ LIR ≥ 1.0 ทั้งในช่วง OC และ NC จะให้กราฟชนิดที่ I ส่วน LIR = 0.05 ในช่วง OC จะให้กราฟชนิดที่ II และ (iii) ช่วงการเพิ่มน้ำหนักครอบ $\bar{\sigma}_{vm}$ ให้กราฟชนิดที่ III โดยไม่คำนึงถึง LIR ผลกระทบเนื่องจาก ระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) ซึ่งให้ผลเหมือนกันทั้ง 2 วิธี คือ เมื่อ LID ยาวขึ้นจะทำให้ค่า a_v เพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ และ r ลดลง

เปรียบเทียบการยุบตัวแบบไอโซทรอปิคและแอนไอโซทรอปิค (K_o) ของการทดลอบแบบไตรแอกเซียล สรุปได้ดังนี้ ในช่วง OC Coefficient of compressibility (a_v) ที่ได้จากการทดลอบแบบไอโซทรอปิค จะให้ค่าสูงกว่าแบบไอโซทรอปิคประมาณ 100% แต่ในช่วง NC ค่า a_v จากการทดลอบแบบไอโซทรอปิค จะต่ำกว่าประมาณ 5% ในช่วงแรก ๆ เมื่อหน่วยแรงเพิ่มขึ้นค่า a_v จะเข้าใกล้กันมากขึ้น จนทับกันสนิท ในช่วง OC ค่า C_v ที่ได้จากการทดลอบแบบไอโซทรอปิค จะให้ค่าต่ำกว่าแบบแอนไอโซทรอปิคประมาณ 50% แต่ในช่วง NC จะมีค่าเกือบเท่ากัน หน่วยแรงสูงสุดในอดีตที่ได้จาก ε_{vol}-log $\bar{\sigma}_v$ ของการทดลอบแบบแอนไอโซทรอปิคจะให้ค่ามากกว่าแบบไอโซทรอปิคประมาณ 15%

Thesis Tittle Comparison of Soft Donmuang Clay Compressibility Data from Triaxial and Consolidation Tests.

Name Mr. Paiboon Vipoosana

Thesis Advisor Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Sc.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1984

ABSTRACT

The study in this thesis was conducted on the consolidation behaviour of Soft Don Muang Clay. Comparisons were made between data from K_o-consolidated triaxial compression and consolidation tests where effects of the magnitude of the load-increment ratio and load-increment duration were studied. Data for comparisons were the characteristics of ε_v-log t curve, a_v, C_v, and $\bar{\sigma}_{vm}$ values. Study was also extended to limitly compared compressibility data from K_o-condolidated triaxial compression and isotropically consolidated triaxial compression tests.

Samples for this study was undisturbed soft clay which was taken from the depth of 5.40 to 5.70 metres, located at Pincharoen Village, Don Muang. The selected load-increment ratios were 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0, and the load-increment durations were t_{100} (determined by $\sqrt{t}$ method), 90 minutes, 24 hours and 48 hours. Pore pressure was not measured during these tests.

The study yield the following results.

(1) Comparisons of compressibility data from K_o-consolidated triaxial and consolidation tests showed that; there are no practical significant difference between a_v in normally consolidated range and $\bar{\sigma}_{vm}$ obtained from these two types of tests, however in OC range C_{v1} was about three times C_{v3}.

(2) In both K_o-consolidated triaxial and consolidation tests, effects of load-increment ratio (LIR) and load-increment duration (LID) were identical. Increase in LIR generally leads to the increase in C_v and decrease in value of r. A type I curve was obtained with LIR = 0.5 in NC range, and when LIR higher than 1.0 in OC and NC range. A type II curve was obtained with LIR of 0.5 in OC range. A type III curve was obtained whenever the load-increment straddled the preconsolidation pressure, regardless of the value load-increment ratio. The compressibility was not significantly affected by load-increment ratio. The longer load-increment duration leads to higher compressibility (a_v) and the lower preconsolidation pressure and primary compression ratio.

(3) Comparison compression of isotrpoically and anisotropically (K_o) consolidated triaxial tests data show : compressibility (a_v) in isotropic consolidation was 100 % higher in OC range, but it was 5 % lower in the early stage of the NC range. At high stress, a_v from both tests are identical. The coefficient of consolidation (C_v) in isotropic consolidation was 50 % lower in OC range, but they were nearly equal in NC range. The preconsolidation pressure which obtained from ε_{vol}-log $\bar{\sigma}_v$ in K_o-consolidation was also 15 % higher.

กิตติกรรมประกาศ

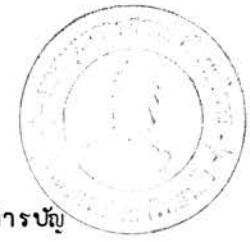
ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรชัตร สัมพันธารักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้แนวทางการศึกษา คำแนะนำ ตลอดจนวิธีการแก้ปัญหา และปรับปรุงวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้อบรม สั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนทำให้ผู้เขียนประสบผลสำเร็จในการศึกษา

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา ครู และอาจารย์ ท่านผู้มีพระคุณเหล่านี้ได้ช่วยให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้ช่วยเหลือในการเก็บดินตัวอย่าง และจดข้อมูลในระหว่างการทดลอง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ไพบูลย์ วิภูษณะ



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฑ

สารบัญรูป ..... ฒ

สัญญลักษณ์ ..... น

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย 3

2. ทฤษฎีและผลงานในอดีต 4

2.1 การอัดตัวคายน้ำของดิน 4

2.2 ทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผล 5

2.3 ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติของ TERZAGHI 6

2.4 ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ 3 มิติ ของ BIOT 9

2.5 Primary consolidation 11

2.6 Secondary consolidation 14

2.7 Coefficient of consolidation (C_v) 16

2.8 วิธีการหาค่า C_v 17

2.8.1 วิธีกรณีที่สองของเวลา 17

2.8.2 วิธีลอการิทึมของเวลา 17

2.8.3 วิธีของ SCOTT 20

2.8.4 วิธีการหาค่า C_{v3} 21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.9 Coefficient of earth pressure at rest....	23
	2.10 Compressibility of soils.....	25
	2.11 หน่วยแรงสูงสุดในอดีต.....	28
	2.12 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อการ Consolidation.....	30
	2.12.1 การไหลซึมผ่านของดิน.....	30
	2.12.2 แรงเสียดทานด้านข้าง.....	31
	2.12.3 อุณหภูมิ.....	31
	2.12.4 การสั่นสะเทือน.....	32
	2.12.5 ทางไหลของน้ำ.....	32
	2.12.6 แรงดันกลับ.....	32
	2.12.7 อัตราการเพิ่มน้ำหนัก.....	33
	2.12.8 ระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก.....	36
	2.12.9 ขนาดของดินตัวอย่าง.....	36
3.	การทดลองการวิจัย.....	38
	3.1 ลักษณะสภาพทั่วไปของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ.....	38
	3.2 การเก็บดินตัวอย่าง.....	40
	3.2.1 สถานที่เก็บดินตัวอย่าง.....	40
	3.2.2 วิธีการเก็บดินตัวอย่าง.....	40
	3.3 คุณสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่าง.....	42
	3.4 โปรแกรมการทดสอบ.....	42
	3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
	3.5.1 เครื่องมือทดสอบแบบ Lever Arm.....	42
	3.5.2 เครื่องมือทดสอบแบบไตรแอกเซียล.....	48
	3.6 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	48
	3.6.1 การเตรียมเครื่องมือทดสอบ.....	48
	3.6.2 น้ำหนักที่ใช้สมดุลย์กับแรงดันเซลล์.....	50
	3.6.3 การเตรียมดินตัวอย่างและจัดดินตัวอย่างในเครื่องมือ	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.6.4 วิธีการทำให้ดินอิ่มน้ำ.....	54
	3.6.5 การตรวจสอบการอิ่มน้ำ.....	54
	3.6.6 การทำ Consolidation.....	55
4.	ผลการทดลองและการพิจารณา.....	58
	4.1 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองและความเป็นเนื้อเดียวกันของดินตัวอย่าง.....	58
	4.1.1 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง.....	58
	4.1.2 ความเป็นเนื้อเดียวกันของดินตัวอย่าง.....	58
	4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงประสิทธิผล	62
	4.2.1 ลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด -logหน่วยแรงประสิทธิผล จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน.....	62
	4.2.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก.....	65
	4.2.3 ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก..	73
	4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการยุบตัว.....	73
	4.3.1 ลักษณะของกราฟ การยุบตัว-log เวลาจากการทดสอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน.....	73
	4.3.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก.....	81
	4.4 หน่วยแรงสูงสุดในอดีต จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน.....	81
	4.5 Compressibility of Clay	82
	4.5.1 Compressibility ของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองจากการทดสอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	82
	4.5.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก.....	85
	4.5.3 ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก.....	85

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.6	อัตราการยุบตัวของดินเหนียวอ่อนตอนเมือง.....	90
	4.6.1 อัตราการยุบอัดตัวครั้งแรก.....	90
	4.6.1.1 การประมาณค่าของ C_v จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดยัน...	90
	4.6.1.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก	93
	4.6.1.3 ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก.....	93
	4.6.2 อัตราการยุบอัดตัวครั้งที่ 2	93
	4.6.2.1 การประมาณค่าของอัตราการยุบตัวครั้งที่ 2 จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดยัน.....	93
	4.6.2.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก	99
	4.6.2.3 ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก.....	99
4.7	Primary compression ratio (r).....	101
	4.7.1 การประมาณค่า Primary compression ratio จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดยัน	101
	4.7.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก.....	101
	4.7.3 ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก....	105
4.8	เปรียบเทียบการทดลอบแบบไตรแอกเซียล (K_o-consolidation) และคอนโซลิเดยัน.....	105
	4.8.1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงประสิทธิผล.....	107
	4.8.2 เปรียบเทียบหน่วยแรงสูงสุดในอดีต.....	107
	4.8.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการยุบตัว	107
	4.8.4 เปรียบเทียบ Compressibility ของดิน.....	113
	4.8.5 เปรียบเทียบ Coefficient of Consolidation	118

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.8.6 เปรียบเทียบ Coefficient of Secondary compression.....	118
	4.8.7 เปรียบเทียบ Primary compression ratio (r).....	118
	4.9 เปรียบเทียบการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิคและแอน-ไอโซทรอปิค (K_o) ของการทดลอบแบบไตรแอกเซียล	121
	4.9.1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ε_{vol}-log $\bar{\sigma}_v$	121
	4.9.2 เปรียบเทียบหน่วยแรงสูงสุดในอดีต.....	121
	4.9.3 เปรียบเทียบ Compressibility.....	121
	4.9.4 เปรียบเทียบ Coefficient of consolidation	121
5.	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	125
	5.1 เปรียบเทียบผลการทดลอบแบบไตรแอกเซียล โดยใช้การอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิคและคอนโซลิเดชัน...	125
	5.2 ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก.....	125
	5.3 ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก.....	126
	5.4 เปรียบเทียบการอัดตัวคายน้ำเมื่อตัวอย่างถูกกระทำแบบไอโซทรอปิคและแอนไอโซทรอปิค (K_o) ของการทดลอบแบบไตรแอกเซียล.....	126
	5.5 ข้อเสนอแนะ.....	127
เอกสารอ้างอิง.....		128
ภาคผนวก ก.	การหาค่า K_o coefficient โดยวิธี ADSTM ของ CHANG	136
ภาคผนวก ข.	ผลการทดลองของการทดลอบแบบคอนโซลิเดชันและไตรแอก-เซียล.....	139
ประวัติผู้เขียน.....		167

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง C_v และ t_{100} จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล	23
3.1	คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง	43
3.2	โปรแกรมการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน	44
3.3	โปรแกรมการทดลอบแบบไตรแอกเซียล	45
4.1	คุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองจากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน.....	59
4.2	คุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองจากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล	59
4.3	คุณสมบัติเริ่มแรกของดินตัวอย่างจากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน	60
4.4	คุณสมบัติเริ่มแรกของดินตัวอย่างจากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล.....	61
4.5	เปรียบเทียบข้อแตกต่างของการเตรียมดินตัวอย่างของการทดลอบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	105

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงดันในโพรงดินต่อแรงดันที่กระทำและการยุบตัวภายใต้การเพิ่มน้ำหนัก	13
2.2	กราฟการยุบตัว กับกรณีที่ล่องของเวลา (ก) จากทฤษฎีของ TERZAGHI (ข) จากการทดลอบ	18
2.3	กราฟการยุบตัว กับลอกการิทึมของเวลา (ก) จากทฤษฎีของ TERZAGHI (ข) จากการทดลอบ	19
2.4	แล่ดงความสัมพันธ์ของดีกรีการอัดตัวคายน้ำและสัดส่วนการยุบตัวกับตัวประกอบของเวลา	22
2.5	แล่ดงความสัมพันธ์ของปริมาตรที่เปลี่ยนไป และ $\sqrt{\text{เวลา}}$ เมื่อระบายน้ำจากปลายทั้งล่องข้าง และด้านข้าง.....	22
2.6	ความสัมพันธ์ของ m และ Plasticity index	26
2.7	ความสัมพันธ์ของ λ และ α ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของยืดเหลว (SHERIF and ISHABASHI,1981)	26
2.8	วิธีการหาค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีต จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนช่องว่าง กับ log แรงดันประสิทธิผล (after CASAGRANDE, 1936)	34
2.9	ผลกระทบของอัตราการเพิ่มน้ำหนักที่มีต่อกราฟของ การยุบตัว กับ log เวลา (after LEONARDS & GIRAULT, 1961)	34
3.1	ลักษณะของชั้นดินกรุงเทพฯ (จาก ว.ล.ท. 2520)	39
3.2	แผนที่แล่ดงบริเวณเก็บดินตัวอย่าง	41
3.3	แล่ดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บดินตัวอย่างดอนเมือง	46
3.4	เครื่องทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.5	เครื่องทดลอบ แบบไตรแอกเซียล	49
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเซลล์กับน้ำหนักที่สมดุลย์กัน	51
3.7	ลักษณะของกระดาษกรองที่ใช้ในการระบายน้ำ ด้านข้าง (BISHOP & HENKEL, 1962)	53
4.1	ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด-หน่วยแรงประสิทธิผล ของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง จากการทดลอบ แบบคอนโซลิเดชัน	63
4.2	ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด-หน่วยแรงประสิทธิผล ของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล	64
4.3	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_v - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = t_{100}.....	66
4.4	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_v - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบ แบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = 24 ซม.	67
4.5	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_v - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = 48 ซม.	68
4.6	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = t_{100}	70
4.7	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่ม น้ำหนักต่อ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = 24 ซม.	71
4.8	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = 48 ซม.	72
4.9	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_v - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 1.0	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 0.5	75
4.11	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลา การเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากผลการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 1.0	76
4.12	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากการทดสอบ แบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 1.5	77
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยุบตัว-log เวลา ของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน	79
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนไป-log เวลาของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล	80
4.15	กราฟ Coefficient of Compressibility (a_v) กับค่าเฉลี่ยหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ($\bar{\sigma}_{av}$) ของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน	83
4.16	กราฟ Coefficient of compressibility (a_v) กับค่าเฉลี่ยหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{av}$) ของดินเหนียวอ่อนดอนเมืองจากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล	84
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการอัด และยืดเหลว	86
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่าง Compression ratio (CR) และยืดเหลว (W_l)	86
4.19	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ a_v จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = 48 ชม.	87
4.20	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ a_v จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = 24 ชม.	88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.21	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) ต่อ a_v จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 1.5	89
4.22	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก ต่อ a_v จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 2.0.....	91
4.23	เปรียบเทียบค่า C_{v1} ระหว่างวิธี $\sqrt{t}$ และ log t	94
4.24	ค่า C_{v3} จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล	94
4.25	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR)ต่อ C_{v1} จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = t_{100}.....	95
4.26	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ C_{v1} จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = 90 นาที	95
4.27	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ C_{v3} จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = t_{100}.....	96
4.28	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ C_{v3} จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = 24 ชม.	96
4.29	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่ม น้ำหนัก (LID) ต่อ C_{v1} จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 0.5	97
4.30	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) ต่อ C_{v1} จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 1.5	97
4.31	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ C_{v3} จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 2.0	98
4.32	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ R_s จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = 48 ชม.	98

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.33	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ R_s จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = 48 ชม.	100
4.34	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ R_s จากวิธีการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 0.50	100
4.35	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ R_s จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 1.00	102
4.36	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ R_s จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 1.00	102
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่าง Primary compression ratio (r_c) และ $\bar{\sigma}_{av}$ จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน	103
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่าง Primary compression ratio (r_T) และ $\bar{\sigma}_{av}$ จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล	103
4.39	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ r_c จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = t_{100}	104
4.40	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อ r_c จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LID = 24 ชม.	104
4.41	ผลกระทบเนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อ r_T จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LID = t_{100}	106
4.42	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ r_c จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ LIR = 2.00	106
4.43	ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่อ r_T จากการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เมื่อ LIR = 2.00	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.44	เปรียบเทียบ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ ระหว่างการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	108
4.45	เปรียบเทียบ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ ระหว่างการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	109
4.46	เปรียบเทียบ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ ระหว่างการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	110
4.47	ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงสูงสุดในอดีตระหว่างการทดล่อบแบบไตร-แอกเซียล และคอนโซลิเดชัน ของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง	111
4.48	เปรียบเทียบกราฟการยุบตัว-log เวลา ช่วงที่ I ของการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	112
4.49	เปรียบเทียบกราฟการยุบตัว-log เวลาช่วงที่ II ของการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	114
4.50	เปรียบเทียบกราฟการยุบตัว-log เวลาช่วงที่ III ของการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	115
4.51	เปรียบเทียบ Coefficient of compressibility (a_v) ระหว่างวิธีการทดล่อบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	116
4.52	เปรียบเทียบ Coefficient of compressibility (a_v) ระหว่างวิธีการทดล่อบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	117
4.53	เปรียบเทียบ Coefficient of consolidation จากการทดล่อบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	119
4.54	เปรียบเทียบ Coefficient of consolidation จากการทดล่อบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน	119

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.55	เปรียบเทียบ Coefficient of secondary compression (R_s) ระหว่างวิธีการทดล่อบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน...	120
4.56	เปรียบเทียบ Coefficient of secondary compression (R_s) จากการทดล่อบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	120
4.57	เปรียบเทียบ Primary compression ratio (r) ระหว่างวิธีการทดล่อบแบบไตรแอกเซียลและคอนโซลิเดชัน	122
4.58	เปรียบเทียบ ε_{vol} - log $\bar{\sigma}_v$ จากการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซ-ทรอปิค และแอนไอโซทรอปิค (K_o)ของเครื่องไตรแอกเซียล.....	122
4.59	เปรียบเทียบ Coefficient of compressibility (a_v) ระหว่างการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิคและแอนไอโซทรอปิค (K_o) ของเครื่องไตรแอกเซียล	123
4.60	เปรียบเทียบ Coefficient of consolidation (C_v) ระหว่างการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิคและแอนไอโซทรอปิค (K_o) ของเครื่องไตรแอกเซียล	124

สัญญลักษณ์

กก.	=	กิโลกรัม
ตร.ซม.	=	ตารางเซนติเมตร
ซม.	=	ซั่วโมง
A	=	พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำในโพรงดิน
A_c	=	Corrected area
A_o	=	พื้นที่หน้าตัดเริ่มแรก
a	=	ค่าคงที่
a_v	=	Coefficient of compressibility
B	=	พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำในโพรงดิน
b	=	ค่าคงที่
C	=	พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำในโพรงดิน
C_c	=	ดัชนีการอัด (Compression index)
C_{cl}	=	Compressibility of soil skeleton ซึ่งได้จากการทดลอบแบบคอนโซลิเดชัน เมื่อ $\Delta u = o$
CH	=	Inorganic clay of high plasticity
CR	=	Compression ratio
C_r	=	Recompression index
C_v	=	Coefficient of consolidation
C_{v1}, C_{v2}, C_{v3}	=	Coefficient of consolidation ใน 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ เรียงตามลำดับ
C_α	=	Coefficient of secondary compression $= \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta \log t}$
d_f	=	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) ที่จุดสุดท้าย
d_o	=	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) เมื่อ $t = o$

d_s = corrected zero point

d_{go} = ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) เมื่อ consolidation 90 %

d_{100} = ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) เมื่อ consolidation 100 %

E' = Young's modulus of soil skeleton

e = อัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio)

e_o = อัตราส่วนช่องว่างเริ่มแรก (Initial void ratio)

Δe = อัตราส่วนช่องว่างที่เปลี่ยนไป

G = ความถ่วงจำเพาะ

H = ระยะทางการไหลของน้ำ

H_o = ความสูงของดินเริ่มแรก

ΔH = ระยะที่ยุบตัวในแนวดิ่ง

h = Head pressure

i = Hydraulic gradient

K_o = Coefficient of earth pressure at rest

K_{oa} = Apparent value of coefficient of earth pressure at rest

K_{of} = K_o in situ ซึ่งมีค่ามากกว่า K_{oa}

$K_o(NC)$, $K_o(OC)$ = K_o for normally consolidated material and overconsolidated material

k = สัมประสิทธิ์ของการไหลซึมผ่านได้ (Coefficient of permeability)

k_f = final permeability

k_h = สัมประสิทธิ์ของการไหลซึมผ่านได้ในแนวราบ

k_o = แฟคเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของช่องว่างระหว่างเม็ดดินและระยะทางของการไหล

k_v = สัมประสิทธิ์ของการไหลซึมผ่านได้ในแนวดิ่ง

LI = Liquidity index

LID = ระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก

LIR = อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก

M = $\frac{1}{2}\pi$ (2m + 1)

m = เลขจำนวนเต็ม (ใช้ในสมการคณิตศาสตร์ของทฤษฎีของ Terzaghi)

m = เป็นค่าฟังก์ชันของ Plasticity index ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ใช้ในสมการ 2.35)

m_v = Coefficient of volume change

NC = Normally consolidated

n = ความพรุน (porosity)

OC = Overconsolidated

OCR = Overconsolidation ratio

P = แรงดันที่กระทำ

PI = Plasticity index

ΔP = แรงดันที่เพิ่มขึ้น

R = รัศมีของดินตัวอย่าง

RR = Recompression ratio

R_s = Coefficient of secondary compression = $\frac{\Delta e}{\Delta \log t}$

r = Primary compression ratio

r_C, r_T = Primary compression ratio ที่ได้จากการทดสอบแบบคอนโซลิเดชันและไตรแอกเชียล เรียงตามลำดับ

S = พื้นที่ผิวจำเพาะของดิน (Specific surface area)

Sat = Saturation

SM = Silty sand

T	=	ตัวประกอบเวลา (Time factor)
$T_{50\ \%}$	=	ตัวประกอบเวลาที่ consolidation 50 %
$T_{90\ \%}$	=	ตัวประกอบเวลาที่ consolidation 90 %
t	=	เวลา
t_{50}	=	เวลาที่ consolidation 50 %
t_{90}	=	เวลาที่ consolidation 90 %
t_{100}	=	เวลาที่ consolidation 100 %
U	=	Average degree of consolidation จากทฤษฎีของ TERZAGHI
$\bar{U}_p$	=	Average degree of pore pressure dissipation จากทฤษฎีของ BIOT
U_s	=	Degree of consolidation settlement
U_z	=	Degree of consolidation at depth Z
u	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน
u_o	=	แรงดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น เมื่อ t = o
u_t	=	แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลา t
Δu	=	แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้น (Excess pore pressure)
V	=	ปริมาตร
V_o	=	ปริมาตรของดินเริ่มแรก
ΔV	=	ปริมาตรที่เปลี่ยนไป
ΔV_{co}	=	การยุบตัวในแนวดิ่ง x A_o
ΔV_m	=	volume change วัดจาก volume change device
v	=	ความเร็วในการไหลซึมผ่านดิน
W_{bc}	=	น้ำหนักที่สมดุลย์กับแรงดันเซลล์
W_l	=	ขีดเหลว (Liquid limit) %
W_n	=	ปริมาณความชื้นในดิน %
W_p	=	ขีดพลาสติก (Plastic limit) %

x	=	ระยะในแกน x
y	=	ระยะในแกน y
z	=	ระยะในแกน z
σ	=	หน่วยแรงรวม (Total stress)
σ_x, σ_y, σ_z	=	หน่วยแรงทั้งหมดในทิศทาง x, y, z เรียงตามลำดับ
$\bar{\sigma}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress)
$\bar{\sigma}_{av}$	=	ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง
$\bar{\sigma}_h$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ
$\bar{\sigma}_{ho}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบตามธรรมชาติ
$\bar{\sigma}_v$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง
$\bar{\sigma}_{vm}$	=	หน่วยแรงสูงสุดในอดีต (Maximum past pressure)
$\bar{\sigma}_{vmc}$, $\bar{\sigma}_{vmT}$	=	หน่วยแรงสูงสุดในอดีตที่ได้จากการทดสอบแบบคอนโซลิดดชัน และไตรแอกเซียล ตามลำดับ
$\bar{\sigma}_{vo}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (Effective over-burden pressure)
$\Delta\sigma$	=	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น
$\Delta\bar{\sigma}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้น
$\Delta\bar{\sigma}_v$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้น
$\Delta\sigma_1$	=	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในแกนหลัก
$\Delta\sigma_3$	=	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในแกนรอง
γ_d	=	หน่วยน้ำหนักแห้ง
γ_w	=	หน่วยน้ำหนักน้ำ
ε	=	ความเครียด
ε_v	=	ความเครียดในแนวดิ่ง
ε_{vol}	=	ปริมาตรความเครียด
$\Delta\varepsilon$	=	ความเครียดที่เปลี่ยนไป
θ	=	$\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ = แรงดันทั้งหมด

λ = เป็นค่าฟังก์ชั่นของยืดเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2.7

α = เป็นค่าฟังก์ชั่นของยืดเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2.7

ν' = Poisson's ratio of soil skeleton

μ = ความหนืดของน้ำ (Viscosity of water)

π = ค่าคงที่ = $\frac{22}{7}$