ศึกษาการยุบตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในส่วนที่ถูกแปรสภาพโดยเครื่องมือการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบบิชชีอบ

นาย วัฒนา เลาหเวชวานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-489-1

009363

Compressibility of Bangkok Clay in Weathered Zone By Bishop Consolidation Cell

Mr. Watana Laohaweshwanish

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduated School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ศึกษาการยุบตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในส่วนที่ถูกแปรสภาพ โดยเครื่องมือการทดลอบการอัดตัวคายน้ำแบบ บิช็อบ

โดย นาย วัฒนา เลาหเวช่วานิช

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....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 ศึกษาการยุบตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในส่วนที่ถูกแปรสภาพ โดยใช้เครื่องมือการทดลอบการอัดตัวคายน้ำแบบบิชช็อบ

ชื่อนิสิต นาย วัฒนา เลาหเวช่วานิช

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2526

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการยุบตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในส่วนของดินเหนียวที่ถูกแปรสภาพ (weathered clay) เมื่อได้รับแรงกระทำให้ดินเกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งทิศทางเดียว (one dimension) โดยศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio) และการเปลี่ยนเวลาของการเพิ่มน้ำหนัก (load increment duration) โดยใช้ตัวอย่างดินสองแห่ง แห่งแรกเป็นดินจากบริเวณดอนเมือง ที่ระดับความลึก 2.50 เมตร มีค่าของ plastic index (PI) เท่ากับ 57 เปอร์เซ็นต์ ค่า sensitivity เท่ากับ 19 ค่าความชื้นตามธรรมชาติเท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า OCR เท่ากับ 2.4 แห่งที่สองเป็นดินจากบริเวณสีลมที่ระดับความลึก 3.50 เมตร มีค่าของ plastic index (PI) เท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ ค่า sensitivity เท่ากับ 8 ค่าความชื้นตามธรรมชาติเท่ากับ 79 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า OCR เท่ากับ 2.9 ดินเหนียวจากทั้งสองแห่งเป็นพวก high plasticity (CH) มีสีเทา มีชั้นบาง ๆ ของพวกดินตะกอน (silt) เปลือกหอย (shell) และรูเล็ก ๆ ของรากพืช (root holes)

การทดลองวิจัยนี้ใช้เครื่องมือการทดลองการอัดตัวคายน้ำ (consolidation) แบบ Bishop Consolidation Cell ซึ่งมีการวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (pore water pressure) ระหว่างการทดลอง เนื่องจากเงื่อนไขของน้ำหนักกระทำ (loading Condition) มีผลโดยตรงต่อการยุบตัวของดินเหนียวที่ถูกแปรสภาพ (weathered clay) การทดลองจึงเลือกใช้ อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio) เท่ากับ 0.5, 1, 2 และเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (load increment duration) เท่ากับ 2, 24, 48 ชั่วโมง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง สรุปได้ดังนี้ คือ

1. การทดลอบการอัดตัวคายน้ำ โดยใช้เครื่องมือของ Bishop Consolidation Cell สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในทางปฏิบัติได้โดยเฉพาะในสภาพที่น้ำหนักกระทำเป็นแบบ flexible เพราะเครื่องมือแบบของ Bishop นี้ น้ำหนักที่กระทำต่อตัวอย่างดินด้านบนเป็นแบบ flexible membrane cap

2. ในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มน้ำหนัก (load increment) พบว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่กระทำต่อตัวอย่างดินทดลอง จะให้ค่าการยุบตัวสูงมากในช่วงของ NC และให้กราฟของ load-compression เป็นแบบ s-shape

3. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio, LIR) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ LIR มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยต่อค่าของ compression ratio (CR), recompression ratio (RR), maximum pore pressure response ($\Delta U_{max}/\Delta\sigma v$) และ coefficient of secondary compression ($C\alpha$) แต่ไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้

สำหรับผลที่ปรากฏแนวโน้มเด่นชัด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของ LIR กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของค่า LIR ทำให้ค่าของ การกระจายของแรงดันน้ำในโพรง ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$) ช้าลง และค่าของเวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp) สูงขึ้น การลดลงของค่า LIR ทำให้ค่าของ coefficient of consolidation (Cv) เพิ่มขึ้นในช่วง Over Consolidated Clay

ที่ LIR มีค่าต่ำ ($LIR \leq 0.5$) จะให้กราฟของ compression-log time เป็น TYPE II ในช่วง OC และเป็น TYPE I ในช่วง Normally Consolidated การที่ LIR มีค่าต่ำ ($LIR \leq 0.5$) ค่าของ coefficient of consolidation (Cv) จากการคำนวณโดยวิธีของ Δu, lot t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลแตกต่างกันมากในช่วง Over Consolidated แต่ค่าของเวลาสิ้นสุด primary consolidation (tp) จากวิธีของ Δu, lot t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลใกล้เคียงกัน และที่ LIR มีค่าสูง ($LIR \geq 1$) จะให้กราฟของ compression-log time เป็น TYPE I ทั้งในช่วง Over Consolidated และ Normally Consolidated การที่ LIR มีค่าสูง ($LIR \geq 1$) ค่าของ coefficient of consolidation (Cv) จากการคำนวณโดยวิธีของ Δu, log t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลใกล้เคียงกันมากขึ้น

4. การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (load increment duration, LID) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ LID ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ compression ratio (CR) และ recompression ratio (RR) แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายของแรงดันน้ำในโพรง ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$) เล็กน้อยซึ่งไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้

การเพิ่มขึ้นของ LID มีผลให้ค่าของ preconsolidation pressure (Pc) ลดลงและมีผลทำให้ค่าของ maximum pore pressure response ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$) เวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp) ค่าของ coefficient of secondary compression ($C\alpha$) ลดลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของ LID ทำให้ของ coefficient of consolidation (Cv) คำนวณจากวิธีของ Δu, log t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลใกล้เคียงกันมากขึ้น

5. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน plasticity พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า Plasticity (หรือ plastic index สูงขึ้น) มีผลให้ค่าของ compression ratio (CR) recompression ratio (RR) สูงขึ้น และเมื่อค่าของ plasticity สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ไม่พบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าของ maximum pore pressure presponse ($\Delta U_{max}/\Delta\sigma v$) และ pore pressure dissipation ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$)

การที่ค่าของ plasticity สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ต่อค่าของ เวลาสิ้นสุด primary consolidation ในช่วง Normally Consolidated coefficient of consolidation (Cv) ในช่วง Over Consolidated

อนึ่ง การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของน้ำหนักที่กระทำก็ตาม รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้าน plasticity พบว่ามีอิทธิพลที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน compressibility อย่างมาก

Thesis Title Compressibility of Bangkok Clay in Weathered Zone By Bishop Consolidation Cell

Name Mr. Watana Loahaweshwanish

Thesis Advisor Assitant Professor Surachat Sambhandharaksa, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic year 1983

Abstract

Soft clays from two locations were studied with respect to their compressibility. Bishop Consolidameter, where exess pore water pressure can be measured during testing, was used in the research. Effects of load increment, load increment ratio, load increment duration on compressibility of these soft days were investigated. From the difference in compressibility characteristics of these two clays, effect of plasticity were shown, although limited data are avialable. The load increment ratio of 0.5, 1,2 and load increment duration of 2, 24, 48 hours were employed in the study.

The first sample location was at Don Muang site. The Block clay smple was taken from the depth about 2.50 meters below the existing ground surface in the open pit. The second location was at silom site. Again, the block clay sample was taken from the depth of about 3.50 meters below existing ground surface, and in the open pit supported by sheet piles.

These two weathered Bangkok Clay samples at these two sites have the following soil properties:

	Clay at Don Muang	Clay at Si Lom
Natural moisture content (%)	92 ± 3	79 ± 4
Plastic Index	57 ± 2	48 ± 2
Sensitivity	19	8
OCR	2.4	2.9

These weathered soft clays, having a silt seam, some shell, and small root holes, was classified as high plastic clay group (CH) in the unified soil classification system.

The test from these study lead for the following conclusions:

1. Data obtained from Bishop Consolidation Type can proable be essentially applied in practice in the the condition where the applied stress is uniform. This is the result from flexible cap condition of Bishop's consolidameter.

2. The study of the load increment shows that higher load increment leads to very high soil compressibility in Normally Consolidated range, and shows the load/compression curve to be "s-shape" type in virgin compression, showing typically of sensitive soft clay.

3. The study of the effects of load increment ratio shows the followings.

3.1 Increase in load increment ratio causes some effects on compression ratio, recompression ratio, maximum pore pressure response, and secondary compression, but the trendency of change can not be concluded, and the amount is with ± 20% from the standard increment ratio. Increase in load increment ratio also cause the decrease in the time for the dissipation of pore water pressure, the increase in the time at end of primary consolidation; and the decrease in load increment

ratio leads to the increase in coefficient of consolidation mostly in the Over Consolidated range.

3.2 At small load increment ratio (≤ 0.5), compression/log time curve of samples in Over Consolidated range are of type II, but in the Normally Consolidated range, type I curve was still obtained. Coefficient of consolidation estimated by "Δu method", "log t method" and "$\sqrt{t}$ method" are quite different, but time at the end of primary consolidation estimated from these methods show smaller differences.

3.3 At large load increment ratio (≥ 1), its effect on the coefficient consolidation, estimated by "Δu method", log t method", and "$\sqrt{t}$ method", becomes smaller. The compression/log time curves of samples of both in Over Consolidated and Normally Consolidated range are of type I curve.

4. The study of the effects of load increment duration show the followings:

4.1 Increase in load increment duration do not show significant effect on compression ratio, and recompression ratio, but show a little effect on the time of the dissipation of the pore water pressure but the trend of the change can not concluded.

4.2 Increase in load increment duration cause the decrease in the measured preconsolidation pressure, maximum pore pressure response, time at the end of primary consolidation, and coefficient of secondary compression, but the coefficient of consolidation, estimated by "Δu method", "log t method", and "$\sqrt{t}$ method", is not much affected at high load increment duration.

5. The study of the effects of soil properties espectilly p plasticity indicates the increase in soil plalicity (higher plastic index) lead to higher compression ratio and recompression ratio. The maximum pore pressure response and the pore pressure dissipation ($1 - \Delta u/\Delta \sigma v$) are not affected by load increment ratio and practically independent of soil plasticity. Time at the end of primary consolidatime (mostly in Normally consolidated range) and coefficient of consolidation (mostly in Over Consolidated range) has the trendency to decrease When the load increment ratio and soil plasticity increase.

These results can be concluded that the major infuence factor of soil compressibility is the loading condition and soil basic properties, especially plasticity.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนที่ได้ให้คำแนะนำ แก้ไขปัญหา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนทราบซึ้งในความกรุณาของท่านอาจารย์ สุรฉัตร เป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ท่านเหล่านี้เป็นผู้มีอุปการคุณต่อผู้เขียน ช่วยให้ผู้เขียนประสบผลสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ในระหว่างการทดลอง ผู้เขียนขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของกรมพัฒนาที่ดินที่ช่วยเหลือในการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างดิน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือร่วมมือเป็นอย่างดี

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

วัฒนา เลาหเวชวานิช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฆ

กิตกรรมประกาศ ..... ฎ

สารบัญตาราง ..... ด

สารบัญภาพ ..... ต

คำอธิบายสัญญลักษณ์ และคำย่อ ..... พ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย 4

2 แนวเหตุผลทางทฤษฎี 5

2.1 อิทธิพลของ weathering ที่มีต่อดินเหนียว 5

2.2 Weathered Bangkok Clay 8

2.3 การยุบตัวของดิน (Soil compressibility) 8

2.4 แนวทฤษฎีของหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress) 12

2.5 การยุบตัวของดินในช่วง primary consolidation 14

2.5.1 การเกิด pore water response ในสภาพอันเดรน 17

2.5.2 อัตราการกระจายของน้ำในโพรงและทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ (dissipation of pore water pressure and consolidation theory) 17

2.5.3 อัตราการอัดตัวคายน้ำ (rate of consolidation) 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.5.4 ผลกระทบของแฟคเตอร์ต่าง ๆ ต่อลักษณะการอัดตัวคายน้ำ	25
	ก. ผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน	25
	ข. ผลของอุณหภูมิ	25
	ค. ผลของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio)	25
	ง. ผลของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (load increment duration)	26
	จ. ผลของการใช้เครื่องมือการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Bishop และแบบ lever-arm	26
	2.5.5 การคาดคะเนเวลาสิ้นสุด primary consolidation กับความเหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง	28
	2.6 การยุบตัวของดินในช่วง secondary compression	31
3	การทดลองการวิจัย	32
	3.1 ลักษณะทั่วไปของสภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	32
	3.2 การเก็บตัวอย่างดินสำหรับการทดลอง	32
	3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง	32
	3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง	32
	3.2.3 สภาพทั่วไปของตัวอย่างที่เก็บ	33
	3.2.4 คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน (index properties)	33
	3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	41
	3.3.1 อันดับการทดลองการอัดตัวคายน้ำ	41
	3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	41
	3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง	45
	ก. การเตรียมเครื่องมือ	45
	ข. การเตรียมตัวอย่างดินทดลอง	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ค. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	46
	ง. วิธีทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำด้วยแรงดันกลับ (back pressure)	47
	จ. การทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินทดลอง	47
4	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์	49
	4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินทดลอง	49
	4.2 เปรียบเทียบผลเนื่องจากการทดสอบด้วยเครื่องมือการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Bishop และแบบ lever-arm	50
	4.2.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง load/compression curve (εv-log$\bar{\sigma}_{vc}$)	51
	4.2.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยุบตัวในเทอมของ compression ratio (CR) และ recompression ratio (RR)	52 52
	4.2.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of consolidation (Cv)	52
	4.2.4 ค่า Initial settlement ระหว่างเกิดการอัดตัวในสภาพอันเดรน	53
	4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดการเพิ่มน้ำหนัก (load increment)	55
	4.3.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง load/compression curve (εv-log$\bar{\sigma}_{vc}$)	55
	4.3.2 ผลต่อกราฟของ compression/log time	56
	4.3.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในโพรง (pore water pressure)	56
	4.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio)	57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.4.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง	57
	load/compression curve (εv-log$\bar{\sigma}_{vc}$)	57
	4.4.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยุบตัวในเทอมของ compression ratio (CR) และ recompression ratio (RR)	58
	4.4.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในโพรง (pore water pressure)	59
	4.4.4 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ compression/log time	61
	4.4.5 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงเวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp)	62
	4.4.6 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of consolidation (Cv)	63
	4.4.7 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of secondary compression (Cα)	65
	4.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (load increment duration)	66
	4.5.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง (load/compression curve (εv-log$\bar{\sigma}_{vc}$).....	66
	4.5.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง compressibility	66
	4.5.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในโพรง (pore water pressure)	67
	4.5.4 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงเวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp)	68
	4.5.5 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of consolidation (Cv).....	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.5.6 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of secondary compression (Cα)	69
	4.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียว (sensitivity, organic matter content และ plasticity)	70
	4.6.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง load/compression curve (εv-log$\bar{\sigma}_{vc}$)	70
	4.6.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง compressibility	70
	4.6.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง pore water pressure	71
	4.6.4 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงเวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp).....	72
	4.6.5 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of consolidation (Cv)	73
	4.6.6 ผลต่อการเปลี่ยนแปลง coefficient of secondary compression (Cα)	73
	4.7 ผลของการทดลอง unloading/reloading cycle	74
5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	119
	5.1 สรุปผลการวิจัย	119
	5.2 ข้อเสนอแนะ	123
เอกสารอ้างอิง		124
ประวัติ		127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าของแรงดันน้ำในโพรงที่กึ่งกลางของชั้นดินตามทฤษฎีของ TERZAGHI (1943) และ DAVID & RAYMOND (1965)	23
3.1	Index properties ของ Weathered Don Muang Clay	37
3.2	Index properties ของ Weathered Silom Clay	38
3.3	สรุปคุณสมบัติทางฟิสิกค์และทางเคมีของดิน Weathered Don Muang Clay	39
3.4	สรุปคุณสมบัติทางฟิสิกค์ และทางเคมีของดิน Weathered Silom Clay	39
3.5	แสดงรายละเอียดของการทดลองและคุณสมบัติของตัวอย่างการทดลอง	40
3.6	แสดงค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่ใช้ในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ	42
4.1	สรุปคุณสมบัติของตัวอย่างดินทดลอง	54

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงผลของรูของรากพืช (root hole) ต่อค่ากำลังรับแรงเฉือน และค่าปริมาณน้ำ (water content) (MOUM & ROSENQVIST, 1957)	7
2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง void ratio และหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งบนลอการิทึมสเกล เมื่อมีผลกระทบจาก weathering และ cementation (BJERRUM, 1967)	7
2.3	แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวกรุงเทพฯ บริเวณสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)	9
2.4	แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวกรุงเทพฯ บริเวณหนองงูเห่า	9
2.5	แสดงคุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียวกรุงเทพฯ บริเวณหนองงูเห่า	10
2.6	แสดงการหาจุดสิ้นสุดการทรุดตัวในช่วง primary consolidation a) จากวิธีของ TAYLOR (1948) และ b) จากวิธีของ CASAGRANDE & FADUM (1940)	15
2.7	แสดงการหาการสิ้นสุดการยุบตัวในช่วง primary consolidation (CRAWFORD, 1964)	16
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Z/H กับ consolidation ratio (UZ) และ time factor (Tv) (จาก TAYLOR, 1947)	20
2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง average degree of consolidation ($\bar{U}$) กับค่า time factor (Tv) ที่ค่า initial pore pressure (Ui) ต่าง ๆ กัน (TAYLOR, 1947)	21
2.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง compression กับเวลา (elapsed time) บนลอการิทึมสเกล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LEONARD & GIRAULT, 1961)	27
2.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง deflection กับเวลา (elapsed time) บนลอการิทึมสเกล (CRAWFORD, 1964)	29
3.1	แผ่นที่แสดงบริเวณเก็บตัวอย่างดินทดลอง	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	แสดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บตัวอย่าง บริเวณตอนเมือง	35
3.3	แสดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บตัวอย่าง บริเวณลีลม	36
3.4	รายละเอียดของ Hydraulically Pressurised Consolidation Cell (Bishop Consolidation Cell)	43
3.5	แสดงการวัดค่าการทรุดตัวของตัวอย่างดินทดลองผ่าน metal mush room บนแผ่นยาง เมื่อแรงที่กระทำต่อตัวอย่างดินด้านบนผ่าน ..... flexible membrane cap	44
3.6	แสดงการวัดค่าการทรุดตัวของตัวอย่างดินทดลอง เมื่อแรงที่กระทำต่อตัวอย่างดินด้านบนผ่าน rigid porous cap	44
3.7	แสดงการเตรียมอุปกรณ์ดูดน้ำจากด้านบนของตัวอย่างดินทดลอง	46
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวดิ่ง (εv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อใช้เครื่องมือการทดลอบการอัดตัวคายน้ำแบบ lever-arm และแบบ Bishop	76
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Δv/vo) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อใช้เครื่องมือการอัดตัวคายน้ำแบบ lever-arm และแบบ Bishop	77
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Recompression Ratio (RR) กับ Over Consolidation Ratio (OCR) เมื่อใช้เครื่องมือการทดลอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Lever-arm และแบบ Bishop	78
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Compression Ratio (CR) กับ Stress ratio เมื่อใช้เครื่องมือการทดลอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Lever-arm และแบบ Bishop	78
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง coefficient of consolidation (Cv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อใช้เครื่องมือการทดลอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Lever-arm และแบบ Bishop	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	แสดงผลของ initial settlement กับหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดลองการอัดตัวคายน้ำ ด้วยเครื่องมือแบบ Bishop	80
4.7	แสดงลักษณะของกราฟ load/compression ในเทอมของความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวดิ่ง (εv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) ของตัวอย่างดิน weathered clay บริเวณตอนเมืองและบริเวณลีลม	81
4.8	แสดงผลของ compression/log time curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง load increment ของการทดลองในช่วงหลัง unloading-reloading cycle ของ weathered clay บริเวณตอนเมือง ที่อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 1	82
4.9	แสดงผลของการกระจายของแรงดันน้ำในโพรง กับเวลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง load increment ของการทดลองในช่วงหลัง unloading-reloading cycle ของดินทดลองบริเวณตอนเมือง	83
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pore pressure dissipation กับ average degree of consolidation ($\bar{U}$) ของ weathered clay บริเวณตอนเมือง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง load increment ในช่วงหลัง unloading-reloading cycle	84
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวดิ่ง (εv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ที่ LID เท่ากับ 2 ชั่วโมง	85
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวดิ่ง (εv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ที่ LID เท่ากับ 24 ชั่วโมง ของตัวอย่างดินบริเวณตอนเมือง	86
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง recompression ratio (RR) กับ Over consolidation ratio (OCR) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR	87
3.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง compression ratio (CR) กับ stress ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR	87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง maximum pore pressure response กับ over consolidation ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ที่ LID เท่ากับ 2 ชั่วโมง	88
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง maximum pore pressure response กับ Over consolidation ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ที่ LID เท่ากับ 24 ชั่วโมง	88
4.17	แสดงผลของ pore pressure dissipation ($1-\Delta u/\Delta \sigma v$) กับ เวลา (elased time) บนลอการิทึมสเกล เมื่อมีการเปลี่ยน-แปลง LIR ในช่วง over consolidated (OC)	89
4.18	แสดงผลของ pore pressure dissipation ($1-\Delta u/\Delta \sigma v$) กับ (elapsed time) บนลอการิทึมสเกล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง Normally Consolidated	90
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pore pressure dissipation($1-\Delta u/\Delta \sigma v$) กับ average degree of consolidation ($\bar{U}$) ที่ด้านบนตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ที่ LID เท่ากับ 24 ชั่วโมง ในช่วง Normally Consolidated	91
4.20	แสดงผลของ compression/log time curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ในช่วง over consolidated (OC) ของดิน Weathered Clay บริเวณดอนเมือง	92
4.21	แสดงผลของ Compression/log time curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ในช่วง straddle the effective proconsolidation pressure ของดิน weathered clay บริเวณดอนเมือง	93
4.22	แสดงผลของ compression/logtime curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ในช่วง normally consolidated (NC) ของดิน weathered clay บริเวณดอนเมือง	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีวัด pore pressure (Δu) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง	95
4.24	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีวัด pore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LIR เท่ากับ 0.5	96
4.25	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีวัด pore pressure (Δu) casagrande (log t) taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LIR เท่ากับ 1.0	96
4.26	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีวัด pore pressure (Δu) casagrande (log t) taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LIR เท่ากับ 2	97
4.27	แสดงผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีของ taylor ($\sqrt{t}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ที่ LID เท่ากับ 2 ชั่วโมง	98
4.28	แสดงผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีของ taylor ($\sqrt{t}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ที่ LID เท่ากับ 24 ชั่วโมง	98
4.29	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีจาก pore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LIR เท่ากับ 0.5	99
4.30	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีจาก pore pressure (Δu) casagrande (log t) taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LIR เท่ากับ 2	99
4.31	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีการ pore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LIR เท่ากับ 1	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง coefficient of secondary compression ($C\alpha$) กับ stress ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR	101
4.33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวดิ่ง (εv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR กับเท่ากับ 1	102
4.34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง recompression ratio (RR) over consolidation ratio (OCR) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1	103
4.35	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง compression ratio (CR) กับ stress ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1	103
4.36	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง maximum pore pressure response กับ over consolidation ratio (OCR) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1	104
4.37	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pore pressure dissipation ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$) กับ average degree of consolidation ($\bar{U}$) ที่ผิวบนตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1	104
4.38	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีวัด pore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LID เท่ากับ 24 ชั่วโมง	105
4.39	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีจากpore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LID เท่ากับ 48 ชั่วโมง	105
4.40	แสดงผลสัมฤทธิ์ของเวลาสิ้นสุด primary consolidation ด้วยวิธีจาก pore pressure (Δu) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีจาก pore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LID เท่ากับ 24 ชั่วโมง	107
4.42	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) ด้วยวิธีจาก pore pressure (Δu) casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) ที่ LID เท่ากับ 48 ชั่วโมง	107
4.43	แสดงผลสัมฤทธิ์ของ coefficient of consolidation (Cv) จากวิธีของ taylor ($\sqrt{t}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1	108
4.44	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง coefficient of secondary compression (Cα) กับ stress ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LID ที่ LIR เท่ากับ 1.....	108
4.45	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวดิ่ง (εv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน plasticity, sensitivity, organic content	109
4.46	แสดงค่าของ recompression ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน plasticity, sensitivity, organic content	110
4.47	แสดงค่าของ compression ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน plasticity, sensitivity และ organic content	110
4.48	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง maximum pore pressure response กับ over consolidation ratio (OCR) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของดินบริเวณลิลม	111

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.49	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง maximum pore pressure response กับ over consolidation ratio (OCR) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของดินบริเวณดอนเมือง	111
4.50	เปรียบเทียบการกระจายของน้ำในโพรงดิน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของตัวอย่างดินเหนียวที่มีค่า PI ต่างกัน	112
4.51	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสิ้นสุด primary consolidation กับ stress ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของตัวอย่างดินบริเวณลีลม	113
4.52	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสิ้นสุด primary consolidation กับ stress ratio เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของตัวอย่างดินบริเวณดอนเมือง	113
4.53	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง coefficient of consolidation (Cv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของดินบริเวณลีลม	114
4.54	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง coefficient of consolidation (Cv) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}_{vc}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของดินบริเวณดอนเมือง	114
4.55	แสดงค่าของ coefficient of consolidation (Cv) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน Plasticity	115
4.56	แสดงค่าของ coefficient of secondary compression ($C\alpha$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน plasticity	115
4.57	เปรียบเทียบค่าของ coefficient of secondary compression ($C\alpha$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง LIR ของตัวอย่างดินเหนียวที่มีค่า PI แตกต่างกัน	116

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.58	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง compression ratio (CR) coefficient of secondary compression (Cα) ของตัวอย่างดินจากบริเวณลีลมและบริเวณดอนเมือง.....	117
4.59	เปรียบเทียบค่าของ coefficient of consolidation (Cv) จากวิธีของ taylor ($\sqrt{t}$) และ casagrande (log t) ในช่วงก่อน unloading-reloading cycle ของ weathered clay บริเวณดอนเมือง	118

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

av = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าการยุบตัว $= -\Delta e/\Delta\bar{\sigma}_{vc}$

Cc = Virgin compression index

Cr = Recompression index

Cs = Swell index

CR = Compression Ratio = $Cc/(1+e_o)$

Cv = coefficient of consolidation

C_α = Coefficient of secondary compression

eo = initial void ratio

Gs = ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง (specific gravity of solids)

LI = Liquidity Index

LID = Load increment duration

LIR = Load increment ratio

LL = Liquid Limit

mv = สัมประสิทธิการเปลี่ยนแปลงปริมาตร $= av/(1+e_o)$

NC = Normally consolidated

OC = Over consolidated

OCR = Over consolidation ratio

Pc = Preconsolidation pressure

PI = Plastic index

PL = Plastic Limit

RR = Recompression Ratio $= Cr/(1+e_o)$

SR = Swelling Ratio $= Cs/(1+e_o)$

St = Sensitivity

Tv = Time factor

Tp = เวลาสิ้นสุด primary consolidation

$\bar{U}$ = Average degree of consolidation

U = Degree of consolidation

Ui = Initial pore pressure

w_l = Liquid Limit

w_n = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ

γ_t = ความหนาแน่นรวม

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ

Δu = ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น

σ = หน่วยแรงรวม

$\bar{\sigma}$ = หน่วยแรงประสิทธิผล

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

$\bar{\sigma}_{vm}$ = หน่วยแรงสูงสุดในอดีต

εv = Vertical Strain = $\Delta h/ho$

τff = แรงเฉือนที่ failure

$\bar{\phi}$ = มุมประสิทธิผลของความต้านทานต่อแรงเฉือน

Z = ความลึกที่พิจารณา