ลักษณะการพองตัวของดินกรุง เทพฯ

นาย วิบูลย์ พงศ์เทพปถัมภ์

004744

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2523

i 17361758

SWELLING CHARACTERISTICS OF BANGKOK CLAY

MR. WIBOON PONGTEPUPATHUM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะการพองตัวของดินกรุงเทพฯ

โดย นายวิบูลย์ พงศ์เทพปถัมภ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะการพองตัวของดินกรุงเทพฯ
ชื่อนิสิต นายวิบูลย์ พงศ์เทพปถัมภ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2522

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างดินจากพระประแดงมาบดอัดใน consolidation ring เพื่อวัดความดันพองตัวและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ โดยแปรเปลี่ยนพลังงานในการบดอัดและปริมาณความชื้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ดินที่บดอัดทางด้านแห้งของปริมาณความชื้น optimum จะเกิดความดันพองตัวและการพองตัวสูงกว่าทางด้านเปียก สำหรับทางด้านแห้งของปริมาณความชื้น optimum ถ้าเพิ่มพลังงานในการบดอัดให้สูงขึ้น จะทำให้เกิดความดันพองตัวและการพองตัวสูงขึ้น แต่ทางด้านเปียกของปริมาณความชื้น optimum ถึงแม้จะเพิ่มพลังงานในการบดอัดให้สูงขึ้น แต่จะได้ความดันพองตัวและการพองตัวใกล้เคียงกัน

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเช่นเดียวกับขบวนการยุบอัดตัว (consolidation) จะทำให้ดินที่พองตัวแล้วยุบตัวลงได้บ้าง และถ้าบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ หลายครั้งขึ้นก็จะทำให้ดินเกิดการยุบตัวมากขึ้น

ศัพท์สำคัญ : ดินกรุงเทพฯ การบดอัด พลังงานในการบดอัด การยุบอัดตัว การบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ ปริมาณความชื้น optimum หน่วยแรง ความดันพองตัว

Thesis Title Swelling Characteristics of Bangkok Clay

Name Mr.Wiboon Pongtepupathum

Thesis Advisor Asst.Prof.Suraphol Chivalak, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1979

ABSTRACT

In this research, soil sample from Phrapradaeng was compacted in consolidation ring at various energy and water content, the measurement of swelling pressure and swelling when given access to water were then observed. The results showed that the swelling pressure and swelling of soil sample compacted on the dry side of the optimum water content were higher than the samples compacted on the wet side. For the samples compacted on the dry side of optimum, the swelling pressure and swelling increased as the compacted energy increased. But on the wet side of optimum, although the compacted energy increased, the differences in swelling pressure and swelling between each sample were small.

The increment of loading as in consolidation process would cause the deformation of the swelling clay and the deformation would increase if more cycles of loading were applied.

Key Words : Bangkok clay, compaction, compacted energy, consolidation, cyclic loading, optimum water content, stress, swelling pressure.

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "ลักษณะการพองตัวของดินกรุงเทพฯ" ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้การสนับสนุนในด้านเงินทุนวิจัยและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค และอาจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนให้ความรู้ในระหว่างที่ศึกษาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก

ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของบิดา มารดา ครูและอาจารย์ที่เคยสอนมาในอดีต ท่านผู้มีพระคุณเหล่านี้ได้มีส่วนช่วยส่งเสริมให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน และที่วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความกรุณาจากมูลนิธินิสิตเก่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนการศึกษาในปีการศึกษา 2521

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณจารุณีย์ โสภา คุณลาวัลย์ ขันทะกิตติ และคุณไชยะ แซ่มซ้อย ที่ได้ช่วยพิมพ์ต้นฉบับวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา คือ คุณนพวรรณ เฮงจันทร์ คุณเริ่ม ศรีตะลาลัย และคุณเกียรติศักดิ์ วรรณพงษ์ ที่ได้อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ทฤษฎี และทบทวนงานในอดีต 3

2.1 ความคิดพื้นฐาน (Basic Concept) 3

2.1.1 แร่ดินเหนียว (Clay Minerals) 3

2.1.2 Double Layer 4

2.1.3 แรงระหว่าง Particles 4

2.1.4 โครงสร้างดิน (Soil Structure) 6

2.2 ทฤษฎีการบดอัด (Compaction Theories) 7

2.2.1 ทฤษฎี Capillarity และการหล่อลื่น (Lubrication) 7

2.2.2 ทฤษฎี เคมี-ฟิสิกส์ (Physico-Chemical Theory) 8

2.2.3 ทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Theory) ... 9

2.3 การพองตัว (Swelling) 11

2.3.1 สาเหตุของการพองตัว 11

2.3.1.1 ผลจากด้านเคมี-ฟิสิกส์

(Physico-Chemical Effects) 11

2.3.1.2 ผลทางกลศาสตร์ (Mechanical Effects) 14

2.3.2 ทบทวนงานในอดีตเกี่ยวกับการพองตัว 15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.4 ความสามารถในการอัดตัวของดินเหนียวที่บดอัด
(Compressibility of Compacted Clay) 20
2.4.1 การยุบอัดตัวของดิน (Consolidation of Soils) 20
2.4.2 ทฤษฎีการยุบอัดตัวของ Terzaghi 22
2.4.3 ทบทวนงานในอดีตเกี่ยวกับความสามารถในการอัดตัวของ
ดินเหนียวที่บดอัด 25
บทที่ 3 การทดลอง 28
3.1 การเก็บตัวอย่างดิน 28
3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 28
3.2.1 การหาคุณสมบัติพื้นฐานของดิน 28
3.2.2 การบดอัด 29
3.2.3 การทดสอบ CBR 30
3.2.4 การทดสอบความดันพองตัว (Swelling Pressure Tests) .. 31
3.2.5 การทดสอบการพองตัว (Swelling Tests) 32
3.2.6 การทดสอบบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ
(Cyclic Loading Tests) 34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 38
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน 38
4.2 การบดอัด 40
4.3 การพองตัวและความดันพองตัว 43
4.3.1 ความดันพองตัว 43
4.3.2 การพองตัว 44

หน้า

4.3.3 ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อความดันพองตัวและการพองตัว 44

4.3.4 ผลของพลังงานซึ่งใช้ในการบดอัดที่มีต่อความดันพองตัว และการพองตัว 48

4.3.5 ชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีผลต่อการพองตัว 52

4.4 การทดสอบบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ (Cyclic Loading Test).... 52

บทที่ 5 สรุป..... 68

เอกสารอ้างอิง 70

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ทางด้านอุณหภูมิ (Thermal Analysis) 75

ภาคผนวก ข. รูปเกี่ยวกับความดันพองตัวและการพองตัว..... 78

ภาคผนวก ค. ตาราง 91

ภาคผนวก ง. การจำแนกประเภทดิน..... 95

ประวัติผู้เขียน 96

สารบัญตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดและการพองตัวของแร่ดินเหนียว 12

ตารางที่ 3.1 การบดอัดตัวอย่างดิน (ใช้แบบมาตรฐานซึ่งมีปริมาตร 1/30 ลูกบาศก์ฟุต ตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ยกสูง 18 นิ้ว) 30

ตารางที่ 3.2 การบดอัดตัวอย่างดิน (ใช้ consolidation ring เป็นแบบ ตุ้มหนัก 5.5 ปอนด์ ยกสูง 12 นิ้ว) 31

ตารางที่ 3.3 การทดสอบความดันพองตัว 36

ตารางที่ 3.4 การทดสอบการพองตัว 36

ตารางที่ 3.5 การทดสอบบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ 37

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของตัวอย่างดิน 38

ตารางที่ 4.2 สรุปผลของการบดอัด 40

ตารางที่ ค.1 ความดันพองตัวและความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดิน ซึ่งบดอัดโดยใช้พลังงานและปริมาณความชื้นเริ่มแรกต่าง ๆ กัน 92

ตารางที่ ค.2 ปริมาณความชื้นสุดท้ายและความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดิน หลังจากแช่น้ำเพื่อทดสอบความดันพองตัว ตัวอย่างดินบดอัดโดยใช้พลังงานและปริมาณความชื้นเริ่มแรกต่าง ๆ กัน 93

ตารางที่ ค.3 การพองตัวและความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดิน ซึ่งบดอัดโดยใช้พลังงานและปริมาณความชื้นเริ่มแรกต่าง ๆ กัน 94

สารบัญรูปประกอบ

หน้า

รูปที่ 2.1 Double Layer 5

รูปที่ 2.2 โครงสร้างดิน 5

รูปที่ 2.3 ผลของจำนวนครั้งของการกระแทกที่มีต่อความหนาแน่นแห้ง ในการบดอัด Silty Clay 10

รูปที่ 2.4 ความดันออสโมติกของสารละลาย 10

รูปที่ 2.5 สาเหตุของ Elastic Rebound 16

รูปที่ 2.6 ผลของวิธีการบดอัดที่มีต่อความดันพองตัว สำหรับตัวอย่างดิน บดอัดที่ degree of saturation สูง ๆ 18

รูปที่ 2.7 ลักษณะการพองตัวของตัวอย่างดินเหนียวปนทราย บดอัดโดยวิธี kneading และ static 19

รูปที่ 2.8 การยุบอัดตัวของดิน 22

รูปที่ 2.9 Compression-log pressure curves แสดงถึงผลจากช่วงระยะเวลา การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน 26

รูปที่ 3.1 แสดงการทดสอบความดันพองตัว 33

รูปที่ 3.2 แสดงการทดสอบการพองตัว และ Cyclic Loading Test 33

รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างดิน 39

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้น ของตัวอย่างดิน บดอัดโดยใช้พลังงานที่แตกต่างกัน..... 41

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันพองตัว และปริมาณความชื้น บดอัดตัวอย่างดินโดยใช้พลังงานที่แตกต่างกัน 45

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัว และปริมาณความชื้น
ของตัวอย่างดิน ซึ่งบดอัดโดยใช้พลังงานที่แตกต่างกัน 46

รูปที่ 4.5 การเพิ่มของปริมาณความชื้น เมื่อนำตัวอย่างดินไปแช่น้ำ
โดยควบคุมให้ปริมาตรให้คงที่ตลอดเวลาในการวัดความดันพองตัว 47

รูปที่ 4.6 ผลของความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นเริ่มแรกที่มีต่อความดันพองตัว
เมื่อบดอัดตัวอย่างดินโดยใช้พลังงานที่แตกต่างกัน 49

รูปที่ 4.7 ผลของความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นเริ่มแรกที่มีต่อการพองตัว
เมื่อบดอัดตัวอย่างดินโดยใช้พลังงานที่แตกต่างกัน..... 50

รูปที่ 4.8-4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง
และความดันในการทำ Cyclic loading test 54-61

รูปที่ 4.14-4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง C_v
และความดันของตัวอย่างดินซึ่งบดอัด 63-66

รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อัตราส่วนช่องว่าง
และ C_v ของตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน 67

รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DTG, DTA และอุณหภูมิ
ของแร่ดินเหนียวบริสุทธิ์ และตัวอย่างดินจากพระประแดง 77

รูปที่ ข.1-ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันพองตัว และเวลา
โดยบดอัดตัวอย่างดินที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ กัน.....79-86

รูปที่ ข.9-ข.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัว และเวลา
โดยบดอัดตัวอย่างดินที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ กัน 87-89

รูปที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้น
ของตัวอย่างดินซึ่งใช้ทดสอบความดันพองตัวและการพองตัว..... 90

สัญญลักษณ์

A^{o} = อังสตรอม (Angstrom) = $1X10^{-10}$ ม.

C_c = ดรรชนีการอัดตัว (Compression Index)

C_c = ความเข้มข้นของ cations ที่กึ่งกลางระหว่าง particles

C_o = ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่อยู่ในช่องว่าง

C_s = ดรรชนีการพองตัว (Swell Index)

C_v = สัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัว (Coefficient of Consolidation)

C_{vc} = สัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัว (Coefficient of Consolidation)

C_{vs} = สัมประสิทธิ์ของการพองตัว (Coefficient of Swelling)

h = head or head loss

H = ความหนาของชั้นดิน

i = hydraulic gradient

k = ความสามารถของการไหลซึม (permeability)

m_v = ความสามารถในการอัดตัว (compressibility)

N = จำนวนของ cations และ anions ต่อโมเลกุลของสารละลาย

P_o = ความดันออสโมติก (Osmotic Pressure)

P_s = ความดันพองตัว (Swelling Pressure)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant)

S = การพองตัว (Swell)

S = สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)

t = เวลา (time)

T_v = time factor

u = ความดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure)

v = ความเร็วของการไหล (flow velocity)

w_i = ปริมาณความชื้นเริ่มแรก (initial water content)

w_f = ปริมาณความชื้นสุดท้าย (final water content)

γ_d = ความหนาแน่นแห้ง (dry density)

σ = หน่วยแรงรวม (total stress)

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