ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248371

การวิเคราะห์ซิโนหนูบเพื่อการป้องกันชายน้ำ

นายธลิษัย อิ่นน่ารมเธริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00253508

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248371

การวิเคราะห์จีโอทยูบเพื่อการป้องกันชายฝั่ง

นาย อภิชัย อึ้งประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 8 7 0 7 2 0 5 2 1

ANALYSIS OF GEOTUBE FOR BEACH PROTECTION

Mr. Apichai Eungprasert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์จีโอทยูบเพื่อการป้องกันชายฝั่ง
โดย	นายอภิชัย อึ้งประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษชน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิรวัตร บุญญะฐี)

อภิชัย อึ้งประเสริฐ : การวิเคราะห์จีโอทยูบเพื่อป้องกันชายฝั่ง
ANALYSIS OF GEOTUBE FOR BEACH PROTECTION
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล, 197 หน้า.

938371

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาถึง Geotube เพื่อใช้ในการป้องกันชายฝั่ง การใช้ Geotubeให้มีประสิทธิภาพนั้นสามารถวิเคราะห์ ได้โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกใช้โปรแกรม PLAXIS และ ส่วนที่สองวิเคราะห์ด้วย STAAD.Pro จากการศึกษาโดยใช้โปรแกรม PLAXISวิเคราะห์การรับแรงดึงของ Geotextile ของแผ่นรองพื้น พบว่าบริเวณด้านล่างของแผ่นรองพื้น จะมีการรับแรงมากกว่าด้านบน ประมาณ 2-3 เท่า ส่วนการทรุดตัวของแผ่นรองพื้น ด้านล่างจะมีการทรุดตัวมากกว่า แสดงให้เห็นว่า ยิ่งค่า EA มากขึ้นเท่าใด ส่วนต่างระหว่าง แรงดึงด้านบนและแรงดึงด้านล่างจะมีมากขึ้นด้วย EA ที่มากจะทำให้วัสดุมีการกระจายแรงได้มากกว่าทำให้มีลักษณะคล้าย Rigid ผลจากการกระจายแรงทำให้ Effective stress น้อยลง การทรุดตัวก็น้อยลงตาม การวิเคราะห์แบบจำลองการทรุดตัวในระยะสั้นจากการใช้ทฤษฎี Elastic,การใช้โปรแกรม plaxis ,สูตรของ Christian and Carrier (1978)นั้นได้ค่าที่เปรียบเทียบกับค่าจริงใกล้เคียงกับสูตรของ Christian and Carrier (1978) มากที่สุด แต่การทรุดตัวระยะยาวนั้นค่าที่ทรุดจริงที่ก่อสร้างแล้วเสร็จที่บริเวณคลองด่าน ซึ่งมีการก่อสร้างไปประมาณ3 ปี มีการทรุดตัวเร็วกว่าค่าที่ได้จากใช้โปรแกรมทำ consolidation ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการครีพแบบไม่ระบายน้ำ และจากการศึกษาโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro มาวิเคราะห์แนวโน้มการรับแรงของ Geotextileและรูปร่างที่เปลี่ยนไป ความหนาของ Geotube มีผลกับการรับแรง ยิ่งGeotube มีความหนามากเท่าใดแรงที่กระทำกับเส้นใยนั้นก็จะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ค่าการรับแรงที่มากที่สุดมีการเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มากเมื่อเทียบกับค่า EA ที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Geotube พิจารณาได้เพียงคร่าว ๆ ว่าจะมีรูปร่างแบบใด แต่ไม่ควรใช้พิจารณาแรงที่กระทำของGeotextile เพราะยังมีส่วนประกอบหลายอย่างที่ต้องพิจารณาด้วยเช่น แรงเสียดทานของดินและ Geotextile การถ่ายแรงจากส่วนต่าง ๆ ค่า Elastic ของดิน การซึมผ่านของน้ำของ Geotextile และการก่อสร้างที่แตกต่างกัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา....2550.....

487 07205 21: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: GEOTUBE / GEOTEXTILE / FINITE ELEMENT METHOD / APRON

APICHAI EUNGPRASERT : ANALYSIS OF GEOTUBE FOR BEACH PROTECTION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUPOT TEACHAVORASINSKN, 197 pp.

938371

The purposes of this research are to study the use of Geotube in an effective way. Finite Element Method (FEM) is the method to analysis for that purpose. This paper study two parts; the first part is using PLAXIS and the second part is using STAAD.Pro. The result of study from PLAXIS analysis tension of geotextile in Apron found that under Apron has more tension than above about 2-3 times and also has more settlement.It shown that more EA made more different tension. Many EA can expand load more than less EA and like rigid so Effective stress is less and settlement is less than in method of analysis immediately settlement from Elastic theory, PLAXIS and theory of Christian and Carrier (1978) compare with site construction is near theory of Christian and Carrier but long-term settlement 3 year in Klongdarn the settlement are more faster than analysis by using PLAXIS because behavior is undrain - creep settlement. Second part using Stadd.pro to analyze tension and displacement of geotextile. Found that Thickness or Elastic of geotube is proportion to tension load in geotextile. Displacement of Geotube can analysis but tension load is not complete because have many factor to consider example friction, expansion load in soil, permeability and construction

Department.....Civil Engineering.....Student's signature.....Apichai Eun.....

Field of study.....Civil Engineering.....Advisor's signature.....Supot Teachavorasinskun

Academic year...2007.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์ โดยให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยอย่างดียิ่ง อีกทั้งขอขอบพระคุณ อาจารย์คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ไว้ ณ ที่นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ ที่แนะนำเข้าสาขาวิศวกรรมปฐพี

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษชน, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บูญญะฐี ที่ให้คำปรึกษาในวิทยานิพนธ์ อาจารย์สาขาวิศวกรรมปฐพีทั้ง 9 ท่านและอาจารย์ภาควิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ โศจิศุภร อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณนายช่าง สุรินทร์ วิเชียร นายช่าง เชาว์ และเจ้าหน้าที่โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันชายฝั่งทะเลบางขุนเทียน บริษัทอิตาเลี่ยน-ไทย ทุกคน

พี่ยุทธกาล พี่กฤษฎา ป้าอ้อด พี่นก พี่จรูญ เจ้าหน้าที่และบุคลากรภาควิศวกรรมโยธา

ขอบคุณ พี่ธวัชชัย พี่วีระ พี่ธนกร พี่พิษณุ พี่ครรชิต พี่ชาน พี่รณนภา พี่วศิน รุ่นพี่ GEO 467 ,477,487,497,507 ทุกทุกคนที่ช่วยสนับสนุนการเรียนและงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รุ่นพี่มหาบัณฑิตภาควิศวกรรมโยธาทั้งสาขา ขนส่ง แหล่งน้ำ โครงสร้าง บริหารการก่อสร้าง ที่อยู่ทำงานและเป็นที่ปรึกษาต่างๆ

ขอรำลึกพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครู และอาจารย์ ที่ได้อบรมและสั่งสอนให้ผู้เขียนสำเร็จการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การป้องกันชายหาด..... 4

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของชายหาด..... 4

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของคลื่น..... 8

ก.กลศาสตร์ของคลื่น..... 8

ข. การเปลี่ยนแปลงของคลื่น..... 10

ค.การเคลื่อนที่ของกระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง..... 14

ง.พลังงานของคลื่น..... 16

จ.หัวหาดและอ่าวสมดุล..... 16

ฉ.การศึกษาที่ผ่านมา..... 17

2.1.3 การป้องกันชายหาด..... 21

บทที่ หน้า

แนวทางการป้องกันชายแบ่งเป็น 4 ส่วนใหญ่คือฝั่งสำหรับ GEOTUBE..... 22
case study การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลบางขุนเทียนและการป้องกันชายหาด..... 25
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
1 สภาพคลื่นและการเคลื่อนตัวของตะกอนชายฝั่ง..... 25
2 การลดลงของป่าชายเลน.....26
3 การลดลงของปริมาณตะกอนทางต้นน้ำ.....28
4 ปัจจัยจากพายุหมุนเขตร้อนที่พัดผ่านอ่าวไทย.....40
2.2 วัสดุ Geotube.....43
2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของ GEOSYNATIC.....43
2.2.2 คุณสมบัติและการเลือกใช้ Geotextile.....44
2.2.3 ส่วนของวัสดุ GEOTUBE.....48
2.2.4 หลักการออกแบบ.....54
2.2.5 มาตรฐานต่าง ๆ ในการพิจารณา.....55
2.2.6 Case study..... 57
2.3 พฤติกรรมของดินเมื่อรับแรง.....58
2.3.1 ทฤษฎีและพฤติกรรมว่าด้วยการวิเคราะห์การทรุดตัว..... 58
ก. การทรุดตัวเนื่องจากครีพแบบไม่ระบายน้ำ.....61
ข. การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ.....66
ค. การทรุดตัวเนื่องจากครีพแบบระบายน้ำ..... 76
ง. สาเหตุการเกิดและคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนที่มีความไว..... 78
2.3.2 การหาการทรุดตัวในมวลดิน..... 81
2.3.2.1 การวิเคราะห์หน่วยแรงในมวลดินเนื่องจากแรงกระทำภายนอก.....81
2.3.2.2 การคาดคะเนการทรุดตัวของดินเหนียว.....87
2.3.2.3 การคาดคะเนอัตราการทรุดตัว (Rate of Consolidation).....96
2.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพของดิน.....103
2.5 คุณสมบัติทางเคมี.....107
การเปรียบเทียบในตัวอย่างจากดินกรุงเทพและดินบางนา.....109
ผลกระทบโครงสร้างของมวลดินและการรบกวนต่อตัวอย่าง.....114

บทที่ หน้า

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บริเวณตัวอย่าง..... 120

3.2 วิธีการทดสอบการทรุดตัว..... 123

3.3 การใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลีเมนต์ในการวิเคราะห์.....141

4 การศึกษาแบบจำลองในกรณีต่างๆ

4.1 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัว.....145

4.2 การวิเคราะห์ตัววัสดุ GEOTUBE.....148

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองและเปรียบเทียบกับค่าจากสถานที่ก่อสร้าง.....169

5.สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์..... 186

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 193

รายการอ้างอิง.....194

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การทรุดตัวของ GEOTUBE ที่วัดได้จากสถานที่ก่อสร้าง..... 199

ภาคผนวก ข. วิธีการก่อสร้าง..... 288

ภาคผนวก ค. มาตรฐานการก่อสร้าง.....299

ภาคผนวก ง. รูปการก่อสร้าง..... 309

ภาคผนวก จ. ธรณีวิทยาของชั้นดินกรุงเทพฯ และปริมณฑล..... 315

ภาคผนวก ฉ.การจำลองพฤติกรรมของ Geotube โดย Stadd.pro 325

ภาคผนวก ช. การจำลองพฤติกรรมการรับแรง โดย Plaxis 401

ภาคผนวก ซ. การตกตะกอนของดินหลัง Geotube..... 446

ภาคผนวก ฌ รูป Geotube ปัจจุบัน..... 450

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 455

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 อัตราการกัดเซาะที่วัดได้จากแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ..... 40
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบราคาก่อสร้างการป้องกันชายฝั่งในแต่ละกรณี.....42
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของ Geotextile.....45
ตารางที่ 2.4 การเลือกใช้ แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) [Hausmann.,1990].....45
ตารางที่ 2.5 ค่ามุมเสียดทานระหว่าง มวลดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นกับแผ่นใยสังเคราะห.....48
ตารางที่ 2.6 American Society for Testing and Material(ASTM) Publication.....56
ตารางที่ 2.7 แสดงสัมพันธ์ระหว่าง C_α / C_c ของดินชนิดต่างๆ (Mesri, 1996)..... 76
ตารางที่ 2.8 ค่า Influence Factor, I_p 88
ตารางที่ 2.9 สมการสำหรับการหาค่า C_c และCR สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ(พรสวัสดิ์, 2549) 102
ตารางที่ 2.10 แสดงปริมาณสารต่างๆ ในทะเลทั่วไป.....108
ตารางที่ 2.10 ผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี 110
ตารางที่ 3.1 ลักษณะชั้นดินในการก่อสร้าง.....122
ตารางที่ 3.2 วิธีการปรับแก้ค่า N (SPT) เนื่องจากผลของ Effective Overburden Pressure...137
ตารางที่ 3.3 ค่าคงที่ของดิน (Soil parameters) ที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อิลิเม้นต์.....144
ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของดินและ geosynatic..... 147

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงผลเสียหายจากการกัดเซาะชายฝั่ง..... 6
ภาพที่ 2.2 รูปตัดตามยาวของชายฝั่งทะเล..... 7
ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของอนุภาคของคลื่นในน้ำตื้นละในน้ำลึก..... 9
ภาพที่ 2.4 การหักเหของคลื่น..... 11
ภาพที่ 2.5 การกระจายของคลื่น..... 13
ภาพที่ 2.6 การเกิดกระแสน้ำตามชายฝั่ง..... 15
ภาพที่ 2.7 การเกิดการหมุนวนของตะกอนและกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งเนื่องจากคลื่น..... 15
ภาพที่ 2.8ผลกระทบของเขื่อนกันคลื่น ต่อตะกอนชายฝั่ง..... 16
ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ ระหว่าง X และ Y..... 17
ภาพที่ 2.10 การเกิดอ่าวรูปหัวใจจากการทดลองด้วยแบบทดลอง,เส้นชันความลึกในการทดลอง,การเกิดชายฝั่งสมดุลที่อ่าวใน แอฟริกา..... 18
ภาพที่ 2.11 การเกิดสันดอนใต้น้ำในบริเวณชายฝั่งในช่วงฤดูมรสุม..... 20
ภาพที่ 2.12 การฟื้นฟูสภาพชายฝั่ง (beach recovery) หลังฤดูมรสุมของทะเลสาบมิชิแกน..... 20
ภาพที่ 2.13 Breakwaters..... 22
ภาพที่ 2.14 Groynes..... 23
ภาพที่ 2.15 Ravetment..... 23
ภาพที่ 2.16 สภาพป่าชายเลนบางขุนเทียนในปัจจุบัน..... 27
ภาพที่ 2.17 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี..... 29
ภาพที่ 2.18 ปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี สถานี..... 29
ภาพที่ 2.19 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณบางขุนเทียน ช่วงปี พ.ศ2538-2495..... 34
ภาพที่ 2.20 รูปแบบการก่อสร้างเกาะป่าเลนป้องกันชายฝั่ง เสนอโดยกรมป่าไม้..... 36
ภาพที่ 2.21 รูปแบบการใช้คอนกรีตรูปปริซึมป้องกันชายฝั่ง..... 37
ภาพที่ 2.22 แผนผังการป้องกันชายฝั่ง เสนอโดย บริษัท Haskoning (2544)..... 36
ภาพที่ 2.20 รูปแบบการก่อสร้างเกาะป่าเลนป้องกันชายฝั่ง เสนอโดยกรมป่าไม้..... 36
ภาพที่ 2.21 รูปแบบการใช้คอนกรีตรูปปริซึมป้องกันชายฝั่ง..... 37
ภาพที่ 2.22 แผนผังการป้องกันชายฝั่ง เสนอโดย บริษัท Haskoning (2544)..... 40
ภาพที่ 2.23 รูปแบบการทิ้งหินป้องกันชายฝั่งทะเลบางขุนเทียนในครั้ง 3ปี พ.ศ2538..... 41

หน้า

ภาพที่ 2.20 รูปแบบการก่อสร้างเกาะป่าเลนป้องกันชายฝั่ง เสนอโดยกรมป่าไม้..... 36
ภาพที่ 2.21 รูปแบบการใช้คอนกรีตรูปปริซึมป้องกันชายฝั่ง.....37
ภาพที่ 2.22 แผนผังการป้องกันชายฝั่ง เสนอโดย บริษัท Haskoning (2544)..... 40
ภาพที่ 2.20 รูปแบบการก่อสร้างเกาะป่าเลนป้องกันชายฝั่ง เสนอโดยกรมป่าไม้..... 36
ภาพที่ 2.21 รูปแบบการใช้คอนกรีตรูปปริซึมป้องกันชายฝั่ง.....37
ภาพที่ 2.22 แผนผังการป้องกันชายฝั่ง เสนอโดย บริษัท Haskoning (2544).....40
ภาพที่ 2.23 รูปแบบการทิ้งหินป้องกันชายฝั่งทะเลบางขุนเทียนในครั้ง 3ปี พ.ศ2538.....41
ภาพที่ 2.24 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนระหว่าง มวลดินกับ Geotextile.....48
ภาพที่ 2.25 Geotube.....49
ภาพที่ 2.26 ขนาดของGEOTUBE.....50
ภาพที่ 2.27 GEOTEXTILE.....51
ภาพที่ 2.28 Geomembrane.....52
ภาพที่ 2.29 Filling of Geotextile Tube.....52
ภาพที่ 2.30) ก(Containment phase)ข(dewatering phase)ค(consolidation phase)...53
ภาพที่ 2.31 ลักษณะการวิบัติรูปแบบต่างๆ.....54
ภาพที่ 2.32 แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในสภาพไม่ระบายน้ำ เมื่อเวลาที่ยอมให้เกิดครีพ แบบระบายน้ำต่างกัน (จาก Mitchell, 1993).....63
ภาพที่ 2.33 การลดลงของกำลังรับน้ำหนักของดิน Heavily Overconsolidated Clay ในรูปของ p'-q พลอต (Mitchell, 1993)..... 65
ภาพที่ 2.34 ผลกระทบเนื่องจากระบบของหน่วยแรงต่อพฤติกรรมครีพแบบไม่ระบายน้ำ.....66
ภาพที่ 2.35 สมมุติฐาน A และสมมุติฐาน B (Jamiolkowski, 1985)..... 70
ภาพที่ 2.36 เปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวและอัตราการกระจายแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริงและที่ได้จากการคาดคะเนโดยใช้หลักการของ Theory of Consolidation (Mesri, 1985 b).....71
ภาพที่ 2.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_v กับค่า Liquid Limit (Das, 1999)..... 73
ภาพที่ 2.38 ผลของการรบกวนตัวอย่าง (สุรฉัตร, 2540)..... 74
ภาพที่ 2.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำเนื่องจากผลของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก(จาก สรุฉัตร, 2540).....81

หน้า

ภาพที่ 2.40 ลักษณะของหน่วยแรงกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นแถบ [Poulos, H.G.1967].... 82
ภาพที่ 2.41 ลักษณะของหน่วยแรงกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นแถบ เมื่อมีฐานรองรับ.....82
ภาพที่ 2.42 ค่า I_{st1} สำหรับการคำนวณค่า $\Delta\sigma_{zz}$ ที่ขอบของหน่วยแรงเมื่อค่า ν มีค่าต่าง ๆ. 83
ภาพที่ 2.43 ค่า I_{st2} สำหรับการคำนวณค่า $\Delta\theta$ ที่ขอบของหน่วยแรงเมื่อค่า ν มีค่าต่าง ๆ 84
ภาพที่ 2.44 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักกับการทรุดตัว..... 87
ภาพที่ 2.45 ตำแหน่งที่พิจารณาค่าแฟคเตอร์ I_p 89
ภาพที่ 2.46 ลักษณะของหน่วยแรงและมิติสำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนตัว..... 90
ภาพที่ 2.47 ค่า Influence Factor สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้าง.....90
ภาพที่ 2.48 ค่า Influence Factor สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง..... 90
ภาพที่ 2.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f กับค่า OCR..... 91
ภาพที่ 2.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ..... 92
ภาพที่ 2.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทรุดตัว กับ เวลา [Asaoka.,1978].....94
ภาพที่ 2.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ρ_K กับ ρ_{K-1} [Asaoka.,1978]..... 95
ภาพที่ 2.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ρ_K กับ ρ_{K-1} [Asaoka.,1978]..... 95
ภาพที่ 2.54 การหาค่า Cvโดยวิธีการ [1997,.P.J,Bardet]..... 97
ภาพที่ 2.55 การหาค่า Cvโดยวิธีการ P.J,Bardet]log t 98
ภาพที่ 2.56 ระดับการอัดตัวคายน้ำ Uzกับ $\frac{Z}{H_d}$ 98
ภาพที่ 2.57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Uzกับ Tvกรณีที่ มีลักษณะต่างๆ..... 99
ภาพที่ 2.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Uzกับ Tv..... 99
ภาพที่ 2.59 ระดับการอัดตัวคายน้ำ Uzเป็นฟังก์ชันของ 100
ภาพที่ 2.60 กราฟแสดงค่าการระบายน้ำเทียบกับพารามิเตอร์เวลา α 101
ภาพที่ 2.61 รูปแบบการวิบัติของวิบัติ ของฐานรากเนื่องจากกำลังรับแรงแบกทาน..... 104
ภาพที่ 2.62 ลักษณะ Bearing Capacity Failure ของ Terzaghi (1943)..... 105
ภาพที่ 2.63 Bearing Capacity Factor [Meyerhof, 1955]..... 103
ภาพที่ 2.64แสดงความแตกต่างจากการใส่น้ำทะเลลงไป โดยรูปด้านขวาใส่น้ำทะเลลงไป..... 107
ภาพที่ 2.65 แสดงสภาพหลังการพองตัว มีรอยแตกร้าวสามารถสังเกตได้..... 108
ภาพที่ 2.66 การเปลี่ยนแปลงค่า Atterberg Limit เนื่องจากกระบวนการ Leaching 111
ภาพที่ 2.67ชนิดของโครงสร้างของดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอน..... 115
ภาพที่ 2.68ผลของ Aging ที่ทำให้ NC Clay แปรสภาพกลายเป็น OC Clay..... 117

หน้า

ภาพที่ 2.69 การเปลี่ยนแปลงค่า Atterberg Limit เนื่องจากกระบวนการ Leaching..... 117
ภาพที่ 2.70ชนิดของโครงสร้างของดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอน..... 118
ภาพที่ 2.71ผลของ Aging ที่ทำให้ NC Clay แปรสภาพกลายเป็น OC Clay..... 119
ภาพที่ 3.1 แผนผังบริเวณ ก่อสร้าง..... 120
ภาพที่ 3.2 แผนผังบริเวณ ก่อสร้างแบบขยาย.....121
ภาพที่ 3.3 แผนผังบริเวณ ก่อสร้าง GEOTUBE แต่ละตัว.....121
ภาพที่ 3.4 ลักษณะ GEOTUBE ที่ก่อสร้าง.....122
ภาพที่ 3.5 หลอดระดับลูกน้ำเมื่อมองจากด้านข้างและด้านบน.....124
ภาพที่ 3.6 กล้องระดับดัมปี (Engineer's dumpy level)..... 125
ภาพที่ 3.7 กล้อง Zeiss self-leveling level..... 125
ภาพที่ 3.8 กล้องระดับ Wye.....125
ภาพที่ 3.9 กล้องระดับ WILD N10..... 126
ภาพที่ 3.10 หมุดระดับหลักฐานถาวร..... 132
ภาพที่ 3.11 การถ่ายระดับ.....133
ภาพที่ 3.12 ช่างสำรวจใช้กล้องวัดระดับในการวัดระดับการทรุดตัวของ GEOTUBE..... 134
ภาพที่ 3.13 การทำสัญลักษณ์ใช้กล้องวัดระดับในการวัดระดับการทรุดตัวของ GEOTUBE....134
ภาพที่ 3.14 ช่างสำรวจใช้ไม้วัดระดับในการวัดระดับ.....135
ภาพที่ 3.15 ช่างสำรวจได้ทำสัญลักษณ์เป็นเครื่องหมายการตรวจวัดจุดอ้างอิงต่าง ๆ 135
ภาพที่ 3.16 วิธีการทดสอบการตอกมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT).....136
ภาพที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับ s_u (วีระนันท์, 2526).....138
ภาพที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Angle of internal friction กับค่า Plasticity index.....139
ภาพที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างAngle of internal friction กับค่า SPT-N.....139
ภาพที่ 3.20 ตัวอย่างของอิลิเม้นต์ชนิดต่างๆที่ใช้ในการคำนวณโดย FEM.....142
ภาพที่ 4.4 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 1.....148
ภาพที่ 4.5 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน X ของการ
จำลองพฤติกรรม 1.....149

หน้า

ภาพที่ 4.6 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน Y ของการจำลองพฤติกรรม 1..... 149
ภาพที่ 4.7 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน X ของการจำลองพฤติกรรม 1.....150
ภาพที่ 4.8 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน Y ของการจำลองพฤติกรรม 1..... 150
ภาพที่ 4.9 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 2..... 151
ภาพที่ 4.10 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 3..... 151
ภาพที่ 4.11 รูปแสดงการจำลองลักษณะของแรง ของการจำลองพฤติกรรม 4..... 152
ภาพที่ 4.12 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 4.....152
ภาพที่ 4.13 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน X จำลองพฤติกรรม 4..... 153
ภาพที่ 4.14 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน Y จำลองพฤติกรรม 4..... 153
ภาพที่ 4.15 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน X ของการจำลองพฤติกรรม 4..... 153
ภาพที่ 4.16 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน Y ของการจำลองพฤติกรรม 4..... 153
ภาพที่ 4.17 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 5..... 154
ภาพที่ 4.18 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 6..... 155
ภาพที่ 4.19 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 7 156
ภาพที่ 4.20 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 8 156
ภาพที่ 4.21 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 9..... 157
ภาพที่ 4.22 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 9.....157
ภาพที่ 4.23 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 10.....157
ภาพที่ 4.24 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 10.....158
ภาพที่ 4.25 แสดงการจำลองลักษณะของแรง ของการจำลองพฤติกรรม 11..... 158
ภาพที่ 4.26 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 11.....159

หน้า

ภาพที่ 4.27 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 11.....159
ภาพที่ 4.28 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน X ของการจำลองพฤติกรรม 11..... 160
ภาพที่ 4.29 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน Y ของการจำลองพฤติกรรม 11..... 160
ภาพที่ 4.30 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน X ของการจำลองพฤติกรรม 11.....160
ภาพที่ 4.31 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน Y ของการจำลองพฤติกรรม 11..... 161
ภาพที่ 4.32 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 12..... 162
ภาพที่ 4.33 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 12..... 162
ภาพที่ 4.34 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 13.....163
ภาพที่ 4.35 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 13.....163
ภาพที่ 4.36 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 14.....164
ภาพที่ 4.37 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 14..... 164
ภาพที่ 4.38 รูปแสดงการจำลองลักษณะของแรง ของการจำลองพฤติกรรม 15.....165
ภาพที่ 4.39 Displacement ตามสัดส่วนจริง ของการจำลองพฤติกรรม 15.....165
ภาพที่ 4.40 การพิจารณาแรงที่กระทำในแต่ละส่วน ของการจำลองพฤติกรรม 15.....166
ภาพที่ 4.41 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน X ของการจำลองพฤติกรรม 15..... 166
ภาพที่ 4.42 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับการพองตัวด้านแกน Yของการจำลองพฤติกรรม 15..... 167
ภาพที่ 4.43 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน X ของการจำลองพฤติกรรม 15.....167
ภาพที่ 4.44 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับแรงด้านแกน Y ของการจำลองพฤติกรรม 15.....168
ภาพที่ 4.45 สรุป ลักษณะการทรุดตัวทุกตัว ในช่วงเวลาสุดท้ายของแต่ละตัว 185

สัญลักษณ์

α	มุมระหว่างสันคลื่นกับแนวชายฝั่ง
α o	มุมระหว่างสันคลื่นกับแนวก่อนชายฝั่ง
C และ Co	ความเร็วคลื่นก่อนและหลังชายฝั่งตามลำดับ
τ_R	หน่วยแรงเฉือนระหว่างมวลดินกับ แผ่นใยสังเคราะห์
σ_n	หน่วยแรงตั้งฉากกับระนาบเฉือน
c_a	ความเชื่อมแน่นระหว่างมวลดินกับ แผ่นใยสังเคราะห์
δ	มุมต้านทานระหว่างมวลดินกับ แผ่นใยสังเคราะห์
η_e	ประสิทธิภาพความต้านทานแรงเฉือนระหว่างมวลดินกับแผ่นใยสังเคราะห์
η_{ec}	ประสิทธิภาพความเชื่อมแน่น
$\eta_{e\phi}$	ประสิทธิภาพมุมต้านทาน
P_v	overburden pressure and gravity weight weight of geotube
F	vertical force
P_w	hydrodynamic pulsating load
H_{GT}	effective height
ϕ'	interface friction angle between geotube and base sand
Ys	submerged unit weight of base soil
E'	the eccentricity of the hydrodynamic pulsating load
B'	width of an equivalent rectangularly shape tube
Pw	แรงพลังงานที่มาจากคลื่น
Po	unit weight ของน้ำทะเล
H	ความสูงของคลื่น
ε^o	อัตราความเครียด (%/หน่วยเวลา)
A	ค่าที่ได้จากการต่อกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ε^o กับระดับหน่วยแรงเฉือน ส่วนที่เป็น เส้นตรง เมื่อ t = t_1 ตัดแกนของอัตราความเครียดที่ค่า A เมื่อระดับหน่วยแรงเฉือนเป็นศูนย์
α	ค่าความชันของส่วนที่เป็นเส้นตรง จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ε^o กับระดับหน่วยแรงเฉือน
D	ระดับหน่วยแรงเฉือน

Δe_p	การลดลงของ Void Ratio ในช่วงการอัดตัวคายน้ำ
Δe_s	การลดลงของ Void Ratio ในช่วงการอัดตัวครั้งที่สอง
m	ความชันของเส้นตรงจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง LOG ε^o กับเวลา ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับระดับหน่วยแรงเฉือน
t	เวลาใดๆ
t_1	หน่วยของเวลา เช่น 1 นาที, 1 ชั่วโมง
I_{st1}	ค่าแฟคเตอร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนปัวซองส์และตำแหน่งพิจารณา
I_{st2}	ค่าแฟคเตอร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนปัวซองส์และตำแหน่งพิจารณา
p	ขนาดหน่วยแรงกระทำภายนอก
ρ_i	การทรุดตัวที่เกิดขึ้นแบบทันที
ρ_s	การทรุดตัวเนื่องจากครีพแบบระบายน้ำซึ่งถือว่าน้อยมากหรือเท่ากับศูนย์ ในดินเม็ดหยาบ
ρ_c	การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ
ρ_s	การทรุดตัวเนื่องจาการอัดตัวครั้งที่สอง (Secondary Settlement)
q	หน่วยแรงที่กระทำที่ทำให้เกิดการทรุดตัว (Net Bearing Stress)
B	ความกว้างด้านสั้นของฐานราก
υ_u	สัดส่วน Poisson
I_p	ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของฐานราก (Influence Factor)
E_u	ค่าโมดูลัสของดิน (Undrained Modulus of Elasticity)
ρ_{ev} , ρ_{eh}	ปริมาณการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง
p	ขนาดของหน่วยแรงกระทำที่ผิวดิน
h	ความหนาของชั้นดินที่พิจารณา
E	ค่าโมดูลัสของมวลดิน
I_{st}	ค่า Influence Factor
ρ_i	การทรุดตัวที่พิจารณาผลของการเกิดการวิบัติเป็นจุดๆ
ρ_e	การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีจากทฤษฎีอีลาสติก
SR	ค่าปรับแก้ผลของการเกิดการวิบัติเป็นจุดๆ ในมวลดิน
H	ความหนาของชั้นดิน
B	ความกว้างของหน่วยแรงภายนอกที่มากระทำ
ρ_{cf}	ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ

ε_{vi}	ความเครียดในแนวดิ่งที่จุดกึ่งกลางของชั้นดินแต่ละชั้นที่แบ่ง
H_i	ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้นที่แบ่ง
n	จำนวนชั้นย่อยที่แบ่ง
$\bar{\sigma}_{voj}$, $\bar{\sigma}_{vmj}$, $\bar{\sigma}_{vfj}$	หน่วยแรงประสิทธิผลที่กึ่งกลางชั้นดินชั้น i
CR_i , RR_i และ m_{vi}	คุณสมบัติของดินชั้น i โดยได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
β_0	ค่าการทรุดตัวที่เส้นกราฟตัดกับแกน ρk
β_1	ค่าความลาดชันของเส้นตรงที่ลากผ่านจุดข้อมูลที่พล็อต
H_d	ความหนาของชั้นดินที่น้ำซึมผ่าน (Drain Path)
Δt	ช่วงระยะเวลา
ρ_{ct}	ค่าการทรุดตัวที่เวลาใดเวลาหนึ่ง
ρ_{cf}	ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ
t_v	เวลาที่ใช้ในการระบายออกของน้ำในสภาพ 1 มิติ
α	ค่าแฟคเตอร์ ที่ขึ้นอยู่กับค่า U, อัตราส่วน $\frac{B}{H}$ และอัตราส่วน $\frac{k_h}{k_v}$
c	กำลังรับแรงเฉือนของดินฐานราก
q	น้ำหนักของมวลดินเหนือฐานรากเท่ากับ γD_f
γ	หน่วยน้ำหนักของมวลดิน
B	ความกว้างของฐานราก
N_c, N_q, N_γ	Bearing Capacity Factor ขึ้นอยู่กับค่ามุมเสียดทานภายใน
q_{ult}	กำลังรับแรงแบกทานสูงสุด
q_{allow}	กำลังรับแรงแบกทานที่ยอมให้
$F.S.$	ค่าความปลอดภัย โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 2.5 – 3.0
$[K]$	เมตริกซ์ความแข็งแรงของระบบ
$[U]$	เมตริกซ์ของการเคลื่อนที่ของจุดมุมต่างๆ
$[F]$	เมตริกซ์ของแรงกระทำภายนอกที่มีต่อระบบปัญหา