

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะจากการทดสอบ CPT ของดินในกรุงเทพฯ

นายทองชัย มากชิต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0340-8

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF BORED PILE CAPACITY BASED ON CPT IN BANGKOK SUBSOILS

Mr.Thanongchai Makchit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2000

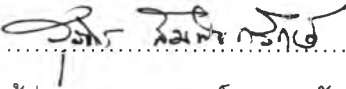
ISBN 974-13-0340-8

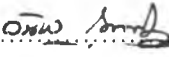
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินกำลังรับน้ำหนักรรทุกของเสาเข็มเจาะจากการ
ทดสอบ CPT ของดินในกรุงเทพฯ
โดย นายทองชัย มากชิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏชน)

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

ทงชัย มากชิต : การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะจากการทดสอบ CPT ของดินในกรุงเทพฯ (EVALUATION OF BORED PILE CAPACITY BASED ON CPT IN BANGKOK SUBSOILS)

อ.ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์, 151 หน้า, ISBN 974-13-0340-8.

การเจาะสำรวจดินโดยใช้วิธี Electrical CPT เป็นวิธีที่มีมาตรฐานและความแม่นยำสูง สามารถนำผลการทดสอบ มาจำแนกชนิดของดินและประมาณการกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ รวมถึงหาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ที่สำคัญของดินอาทิ ค่า SPT- N Value และค่ากำลังแรงเฉือนของชั้นดิน(S_u)

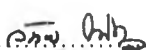
การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มเจาะ(Q_c)ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ จากผลการทดสอบ CPT พบว่าสามารถประเมินได้แม่นยำจากความสัมพันธ์กับค่าหน่วยแรงต้านทานการหยั่งทดสอบที่ปลาย(q_c) ในขณะที่การประมาณแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มเจาะในชั้นทรายกรุงเทพฯสามารถประมาณได้จากความสัมพันธ์ กับค่าหน่วยแรงต้านทานการหยั่งทดสอบที่ปลายที่มีการปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิผลของดิน (q_c') ชนิดของเสาเข็มอัดฉีดน้ำและไม่อัดฉีดน้ำปูนที่ปลายไม่มีผลเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทานด้านข้างในดินเหนียวแต่อย่างใด ในขณะที่การอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มจะช่วยเพิ่มแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มในชั้นทรายมากกว่ากรณีไม่อัดฉีดน้ำปูนอย่างมาก สำหรับการประมาณการแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Q_b) สามารถประมาณได้จากหน่วยแรงต้านทานการหยั่งทดสอบที่ปลายโคนที่มีการปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิผลของดิน (q_c') เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย จะให้ค่า ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Q_b) สูงกว่าเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....  

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

AN ABSTRACT

4070282221 : MAJOR CIVIL ENGINEER

KEYWORD : GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION / ELECTRICAL CPT/BORED PILE

THANONGCHAI MAKCHIT : EVALUATION OF BORED PILE CAPACITY BASE ON CPT
IN BANGKOK SUBSOILS.

THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. WANCHAI TEPARAKSA, Ph.D.

151 PP. ISBN 974-13-0340-8.

Electrical CPT is a standardized and most accurated in-situ tested method in soil exploration program. CPT Test can be used for preliminary soil classification and estimating bored pile capacity. Furthermore, the design soil parameters can be obtained from the CPT test. The SPT-N value and the undrained shear strength of clay (S_u) shows a good correlation with the cone resistance value (q_c)

The research found that the Skin friction capacity of bored pile (Q_s) in Bangkok clay layer show a good relation with the cone resistance. While the skin friction capacity of pile in Bangkok sand layer shows a good relation with the normalized cone resistance (q_c') with the effective overburden pressure. The effect of base-grouting pile is not significant to the skin friction capacity of pile in clay layer. However, it is very significant to increase the skin friction capacity for friction in sand layer. The ultimate end bearing capacity bored pile capacity in sand layer show a good relation with the normalized cone resistance (q_c') with the effective overburden pressure. The base-grouting bored pile with tip in sand layer shows a significant increase in end bearing pile capacity than normal non-grouting bored pile.

Department CIVIL ENGINEERING

Filed of study CIVIL ENGINEERING

Academic Year 2000

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....



กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะจากการทดสอบ CPT ของดินในกรุงเทพฯ" ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรัักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏาชน ที่ได้ร่วมเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้เขียนเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบริษัท FUGRO-IGN(THAILAND) Co.,Ltd. ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลผลการทดสอบ ELECTRICAL CPT เพื่อการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท GTC Co.,Ltd. ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลผลการเจาะสำรวจดิน (Boring) เพื่อการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณกิจการร่วมค้า JV-BBCD และบริษัท STS ENGINEERING CONSULTANTS Co.,Ltd. ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลการ ทดสอบเสาเข็มเพื่อการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณจเร รุ่งฐานีย์ วิศวกรโยธาประจำกองวิเคราะห์วิจัย การรถไฟแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลการทดสอบเสาเข็มและผลการเจาะสำรวจดิน (Boring) เพื่อการทำวิจัยเพิ่มเติม

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนและส่งเสริมให้ผู้เขียนสำเร็จการศึกษาจนมาถึงปัจจุบันนี้

ทงษ์ชัย มากชิต

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฎ |
| สารบัญรูป | ฏ |
| สัญลักษณ์ | ด |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ | 4 |
| 2 ทฤษฎีแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 สภาพชั้นดินในกรุงเทพฯ | 5 |
| 2.1.1 สภาพชั้นดินในกรุงเทพฯ | 5 |
| 2.1.2 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับดินกรุงเทพฯ | 7 |
| 2.2 การเจาะหยั่งดินและเครื่องมือในการเจาะหยั่งดิน | 13 |
| 2.2.1 การเจาะสำรวจโดยวิธี SPT | 13 |
| 2.2.2 การเจาะสำรวจโดยวิธี CPT | 13 |
| 2.2.2.1 Mechanical Cone | 14 |
| 2.2.2.2 Electrical Cone | 15 |
| 2.2.3 ตัวประกอบที่มีผลต่อการทดสอบ CPT | 16 |
| 2.3 การจำแนกชั้นดินและค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของชั้นดินกับโดยค่าการทดสอบ CPT.. | 17 |
| 2.3.1 การแบ่งแยกชั้นดินโดยวิธีการทดสอบ CPT | 18 |
| 2.3.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญกับค่าจากการทดสอบ CPT.. | 22 |
| 2.3.2.1 ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value)..... | 22 |
| 2.3.2.2 กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.3.2.3 ความแน่นสัมพัทธ์ของดิน (D_r) | 28 |
| 2.3.2.4 ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ) | 28 |
| 2.4 ชนิดเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยและเทคนิคการก่อสร้าง | 32 |
| 2.4.1 เสาเข็มเจาะ | 32 |
| 2.5 การติดตั้งเครื่องมือวัดในเสาเข็ม | 33 |
| 2.5.1 Vibrating Wire Strain Gauges | 33 |
| 2.5.2 Extensometer | 33 |
| 2.6 การส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากเสาเข็มสู่ดินรอบๆเสาเข็ม | 34 |
| 2.6.1 การหาแรงตามแนวแกนโดย Vibrating Wire Strain Gauges | 34 |
| 2.6.2 การหาแรงตามแนวแกนโดย Extensometer | 35 |
| 2.7 การประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มเดี่ยว | 35 |
| 2.7.1 วิธีสถิตยศาสตร์ (Static Method) จากผลการทดสอบ CPT | 35 |
| 2.7.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม (Pile load test) | 46 |
| 3. การเก็บและรวบรวมข้อมูล | 52 |
| 3.1 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่รวบรวมได้และการแบ่งประเภท | 52 |
| 3.1.1 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 53 |
| 3.1.2 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 53 |
| 3.1.3 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายมี Polymer เป็นตัว | 53 |
| 3.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน | 53 |
| 4. การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย | 62 |
| 4.1 การแบ่งจำแนกชั้นดิน | 62 |
| 4.2 อภิปรายและเปรียบเทียบค่าปรับแก้ C_n และค่าปรับแก้ C_q | 62 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบ Electrical CPT กับ พารามิเตอร์ของดิน ..64 | |
| 4.3.1 ดินเหนียว | 64 |
| 4.3.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c กับค่าดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity index;PI)..... | 65 |
| 4.3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c กับ N | 66 |
| 4.3.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c กับ S_u | 67 |
| 4.3.2 ดินทราย | 69 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง N' กับ q_c' | 69 |
| 4.3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c' กับ ϕ' | 70 |
| 4.4 การแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม | 71 |
| 4.5 การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้าง | 75 |
| 4.5.1 ชั้นดินเหนียว | 75 |
| 4.5.1.1 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 75 |
| 4.5.1.2 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 78 |
| 4.5.2 ชั้นดินทราย | 82 |
| 4.5.2.1 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 82 |
| 4.5.2.2 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 84 |
| 4.6 การประมาณค่าแรงต้านทานที่ปลายเข็ม | 85 |
| 4.6.1 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 87 |
| 4.6.2 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย | 87 |
| 4.7 การเปรียบเทียบและอภิปรายค่าพารามิเตอร์ของเสาเข็มเจาะแต่ละประเภท | 89 |
| 4.7.1 ค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) | 89 |
| 4.7.2 ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_b) | 89 |
| 4.7.3 ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม(q_b) | 90 |
| | |
| 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 91 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 91 |
| 5.1.1 การแบ่งจำแนกชั้นดิน | 91 |
| 5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบ CPT กับ พารามิเตอร์ของดิน...91 | |
| 5.1.3 ค่า Electrical CPT สำหรับการประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้าง | 92 |
| 5.1.4 ค่า Electrical CPT สำหรับการประมาณค่าแรงต้านทานที่ปลายเข็ม | 92 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 92 |
| | |
| รายการอ้างอิง | 93 |
| ภาคผนวก..... | 99 |
| ประวัติผู้เขียน | 151 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงคุณสมบัติชั้นพื้นฐานโดยทั่วไปของดินกรุงเทพฯ (Chin, 1972 และ Tonyagate, 1978) | 6 |
| 2.2 การจำแนกชนิดดิน Schmertman (1969) | 19 |
| 2.3 สรุปผลการวิจัยการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c กับ N..... | 25 |
| 2.4 การประมาณการรับน้ำหนักบรรทุก โดยวิธี European (After de Ruiter and Beringer, 1979) | 36 |
| 2.5 การประมาณการรับน้ำหนักบรรทุก โดยวิธี Schmertmann (1978)..... | 38 |
| 2.6 การประมาณการรับน้ำหนักบรรทุก โดยวิธี LCPC | 40 |
| 2.7 Bearing Capacity Factor, k_c | 41 |
| 2.8 Friction Coefficient, α' | 42 |
| 3.1 ข้อมูลเสาเข็มเจาะที่รวบรวมได้ | 54 |
| 3.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินโดยการทดสอบ CPT และการเจาะสำรวจโดยวิธีนำตัวอย่างดินมาหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน (Boring) | 57 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยนี้โดยใช้ทฤษฎีของ Mazurkiewicz(1972) และ Butler & Hoy (1977) | 73 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ลักษณะทั่วไปของชั้นดินในกรุงเทพฯ | 7 |
| 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ S_u (DM 7.1) | 8 |
| 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ SU (แมนสรวง, มนัสพลและณัฐพล, 2540) | 10 |
| 2.4 แรงดันน้ำสำหรับดินกรุงเทพฯ (Teparaksa, 1999) | 10 |
| 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N' กับค่า ϕ' (Peck , Hanson & Thornburn, 1974) | 12 |
| 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_N กับค่า σ'_{vo} (Peck , Hanson & Thornburn, 1974) | 12 |
| 2.7 Mechanical Cone Penetrometer | 14 |
| 2.8 Electrical Cone Penetrometer | 15 |
| 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Correction Factor (C_Q) กับค่า Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) | 18 |
| 2.10 วิธีการจำแนกดินโดยใช้ CPT แบบ Electrical Friction Cone ของ Robertson และ Campanella (1983) ($R_f = f_s/q_c$) | 19 |
| 2.11 การจำแนกชั้นดินโดย Electronic friction Cone (Adapted from Douglas and Olsen ,1981) | 20 |
| 2.12 การจำแนกชั้นดินโดย Electronic friction Cone (Robertson et al, 1986)..... | 21 |
| 2.13 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน q_c/N ตามค่าขนาดละเอียดที่ ค่าพลังงานที่เกิดขึ้นขณะ ตอก SPT 55-60% โดย Robertson (1983)..... | 22 |
| 2.14 การเปรียบเทียบแรงต้านทานการหยั่งระหว่าง SPT กับ CPT..... | 23 |
| 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพันธ์กับ q_c และ σ'_{v} ของดิน Unaged Quartz Sand โดย Baldi (1986)..... | 29 |
| 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Number กับค่ามุมเสียดทานภายใน..... | 30 |
| 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c กับค่ามุมเสียดทานภายในสูงสุดของ Uncement quartz Sand..... | 30 |
| 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c กับค่ามุมเสียดทานภายในจากการทดสอบในฝรั่งเศสและเยอรมัน | 31 |
| 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c กับค่ามุมเสียดทานภายในของทรายกำแพงแสน ชลบุรี และ อุดรธานี | 31 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

| | |
|---|----|
| 2.20 การประมาณการรับน้ำหนักบรรทุกที่ปลายของเสาเข็ม โดยวิธี (After de Ruiter and Beringer,1979) | 37 |
| 2.21 กราฟค่า K สำหรับประมาณแรงเสียดทานด้านข้าง After Schmertmann (1978)..... | 39 |
| 2.22 กราฟค่า α' สำหรับประมาณแรงเสียดทานด้านข้าง After Schmertmann (1978) | 40 |
| 2.23 กราฟการหา Equivalent Cone Resistance วิธี LCPC (Bustamante and Ganeselli , 1982)..... | 43 |
| 2.24 แสดงการวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยใช้ วิธีพลังงานของ Rollberg..... | 45 |
| 2.25 รายละเอียดวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ | 51 |
| 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยในเขตพื้นที่กรุงเทพ | 56 |
| 4.1 การจำแนกชั้นดินเสนอโดย Roberson et al , (1986) | 63 |
| 4.2 การเปรียบเทียบ ค่าปรับแก้ N กับ q_c | 63 |
| 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง หาค่าดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity index ; PI) และ ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของดินเหนียว | 65 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ N ของดินเหนียว | 66 |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของดินเหนียว | 67 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) Normalization ด้วยค่า Overburden Pressure (σ_{vo}) ของดินเหนียว | 68 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ N ของดินทราย | 69 |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ' กับ q_c' ในชั้นดินทราย | 70 |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q_u จาก Mazurkiewicz(1972) และ Q_f จาก Butler & Hoy (1977)สำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ | 72 |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_u) กับ q_c สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นทรายกรุงเทพฯ | 76 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c) กับ q_c สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทราย ในชั้นดินกรุงเทพฯ | 77 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s กับ f_{sl} (Local friction) สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้น ดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 77 |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s) กับ q_c สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 78 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c) กับ q_c สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม ที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 79 |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s กับ q_c สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่ อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 79 |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_{sl} กับ ความต้านทานการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะ | 80 |
| 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับแรงเสียดทานที่ท่อนหา แรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะ | 81 |
| 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c) กับ ความต้านทานการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะ | 81 |
| 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s กับ q_c' สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายในชั้นดิน กรุงเทพฯ | 82 |
| 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s/q_c' กับ q_c' สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายในชั้นดิน กรุงเทพฯ | 83 |
| 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_{sl} กับ q_c' ของชั้นดินทรายสำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 84 |
| 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c') กับ q_c' ของชั้นดินทรายสำหรับเสาเข็มอัดน้ำ ปูนที่ ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 83 |
| 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s) กับ q_c' ของชั้นดินทรายสำหรับเสาเข็มเจาะ | 84 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_b กับ q_c' สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดิน กรุงเทพฯ | 87 |
| 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_b กับ q_c' สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ใน ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ | 88 |
| 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลาย q_b กับ q_c' สำหรับเสาเข็มเจาะ ในกรุงเทพฯ | 88 |

สัญลักษณ์

| | | |
|------------|---|---|
| A_p | = | พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม |
| A_s | = | พื้นที่ผิวของเสาเข็มในช่วงรับแรง |
| D | = | ความลึก |
| D | = | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง |
| D_b | = | Elastic Shortening |
| E | = | โมดูลัสของดินใต้ปลายเสาเข็ม |
| E_b | = | อีลาสติกโมดูลัสของคอนกรีต |
| E_c | = | อีลาสติกโมดูลัสของเสาเข็ม |
| E_s | = | อีลาสติกโมดูลัสของเหล็กเสริม |
| F_s | = | หน่วยแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม |
| F_{sl} | = | แรงเสียดทานที่อ่อนหาแรงเสียดทาน (Local friction) |
| H | = | ความหนาของชั้นดินจากหัวเสาเข็มถึงชั้นดินที่ไม่ทรุดตัว |
| K | = | Stiffness ของเสาเข็ม |
| K_s | = | ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้าง |
| L | = | ความยาวเสาเข็ม |
| N | = | ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value) |
| N_c | = | Bearing Capacity Factor |
| N_f | = | Correction Factor สำหรับเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง |
| N_q | = | Mobilized Bearing Capacity Factor |
| P | = | น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการทรุดตัว |
| PI | = | ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity index) |
| Q_u | = | ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม |
| Q_b | = | หน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม |
| Q_c | = | ความต้านการหยั่งที่ปลาย (Cone Resistance) |
| F_R, R_f | = | Friction Ratio |
| S | = | ค่าความเครียด (Strain) |
| S_u | = | ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ |

| | | |
|----------------|---|--|
| S | = | ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม |
| U | = | แรงดันน้ำ |
| W | = | น้ำหนักของเสาเข็ม |
| α | = | Adhesion Factor |
| β | = | ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้าง |
| δ | = | มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดิน |
| γ | = | หน่วยน้ำหนักของดิน |
| ϕ | = | มุมต้านทานแรงเฉือนของดิน |
| ν | = | Poisson Ratio |
| σ_{vo} | = | หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง ที่ระดับปลายเสาเข็ม |
| σ'_{vo} | = | หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง |