

พฤติกรรมของเสาเข็มแบเรตและเสาเข็มเจาะที่ติดเครื่องมือวัดในชั้นดินกรุงเทพฯ

นายชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

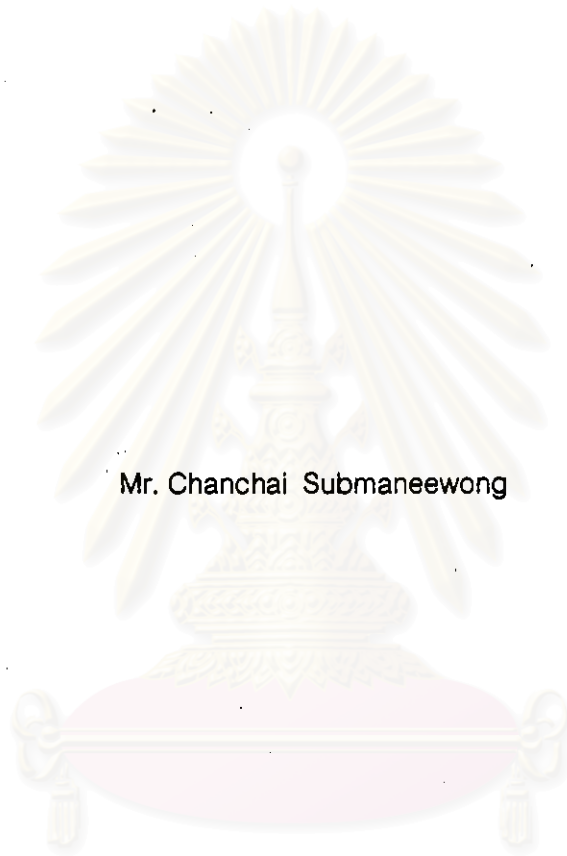
ISBN 974-333-748-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19263269

**BEHAVIOUR OF INSTRUMENTED BARRETTE AND BORED PILES
IN BANGKOK SUBSOILS**

Mr. Chanchai Submanee Wong



**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
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 1999

ISBN 974-333-748-2


หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของเส้าเข็มแบบเรียดและเส้าเข็มเจาะที่ติดตั้งมือวัดในชั้นดิน
กรุงเทพฯ
โดย นายชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์

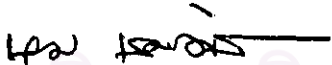
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปิญาแก้ว) **คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์**

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


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


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนรินทร์วงศ์) **กรรมการ**


.....
(อาจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏชน) **กรรมการ**

ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ : พฤติกรรมของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดในชั้นดิน
กรุงเทพฯ (BEHAVIOUR OF INSTRUMENTED BARRETTE AND BORED PILES IN
BANGKOK SUBSOILS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วันชัย เทพรักษ์, 188 หน้า, ISBN 974-333-748-2


ปัจจุบันได้มีการนำเสาเข็มแบบเรียด (Barrette Pile) มาใช้แทนเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถใช้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงขึ้นและรับแรงด้านข้างได้มากขึ้นอันจะทำให้สามารถลดจำนวนเสาเข็มและลดพื้นที่ก่อสร้างซึ่งจะช่วยลดการทรุดตัวของน้ำหนักบรรทุกใช้งานและง่ายต่อการจัดวางรูปแบบฐานรากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่จำกัด เนื่องจากความแตกต่างกันในลักษณะรูปร่างของเสาเข็มเจาะและเสาเข็มแบบเรียดและเครื่องมือที่ใช้เจาะเสาเข็มตลอดจนเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มต่างกันมาก ดังนั้นในการวิเคราะห์และออกแบบเสาเข็มแบบเรียดจึงอาจไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบบางตัวร่วมกับเสาเข็มเจาะได้

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Geotechnical Instrumentation) ในพื้นที่กรุงเทพฯ ในโครงการ BECM Tower บริเวณ ถ.พระราม 9 และโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRTA) บริเวณสถานีบางซื่อและสถานีเทียนร่วมมิตร และได้ทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดที่มีสภาวะปลายเข็มเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่าค่าแรงเสียดทาน Adhesion Factor (α) ในชั้นดินเหนียวและค่า Friction Factor (β) ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มแบบเรียดอยู่ในแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าสำหรับเสาเข็มเจาะแต่ในส่วนของค่าแรงด้านที่ปลายเสาเข็ม พบว่าค่า Bearing Capacity Factor N_u สำหรับเสาเข็มแบบเรียดมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าสำหรับเสาเข็มเจาะมาก ทั้งนี้เนื่องจากผลของวิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเรียด นอกจากนี้ยังพบว่าผลกระทบของมิติด้านสั้นและด้านยาวของเสาเข็มแบบเรียด (เฉพาะกรณีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นน้อยกว่าสอง) ไม่มีผลต่อแรงเสียดทานของเสาเข็มเช่นกัน สำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองผลวิจัยพบว่าการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มจะช่วยเพิ่มค่า Friction Factor (β) และค่า Bearing Capacity Factor N_u ในชั้นทราย

ผลวิเคราะห์ค่าโมดูลัสระหว่างเสาเข็มกับดิน (E_s) ตามทฤษฎีของ Poulos & Davis (1980) พบว่าค่า E_s สำหรับเสาเข็มแบบเรียดสูงกว่าค่า E_s สำหรับเสาเข็มเจาะเนื่องจากผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่าที่มากกว่าและเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า E_s สำหรับเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มกับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_s กับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานสำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มมีค่าใกล้เคียงกับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่ไม่ได้มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้เสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะมีการติดตั้งเครื่องมือวัดประเภท Vibrating Wire Strain Gauge (VWSG) เพื่อวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) และหน่วยแรงด้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_e) โดยมีจำนวนเสาเข็มแบบเรียดทั้งหมด 4 ต้น และเสาเข็มเจาะทั้งหมด 26 ต้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต 

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ปีการศึกษา 2542

4070252421: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION / BARRETTE / BORED PILE

CHANCHAI SUBMANEEWONG : BEHAVIOUR OF INSTRUMENTED BARRETTE AND BORED PILES IN BANGKOK SUBSOILS. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. WANCHAI TEPARAKSA, Ph.D. 188 pp. ISBN 974-333-748-2

Recently, barrette pile is used to replace the conventional bored pile in order to increase the allowable vertical and horizontal pile capacity. In case of limited construction space, the barrette pile is more adjustable due to its rectangular shape. However, the basic construction equipments and construction time between barrette pile and bored pile are total different, therefore, the design parameters for barrette pile shall be adjusted and might be not same as bored pile.

This research aims to compare pile load test results of instrumented barrette piles and instrumented bored piles in Bangkok with the same pile tip and soil conditions. The results show that the adhesion factor (α) and friction factor (β) parameters for barrette piles are same as the bored piles. However, N_q - value for barrette pile is much lower than the bored pile, which is due to the effect of construction method at pile toe. In addition, the plane strain effect due to barrette dimension between long side and short side ($L/B \leq 2$) does not show any significant effect on the friction resistance. In case of barrette and bored piles having tips in second sand layer, the effect of grouted base increase both skin friction (β - value) and bearing capacity (N_q - value) of pile in the sand layer.

The study of soil - pile elastic modulus (E_s) based on Poulos & Davis (1980) 's method, it was found that the E_s values of barrette piles are higher than bored piles due to the effect of their large equivalent diameters. The comparison of the E_s values between based grouted and non-grouted piles show that base grouting is not significant effect on the E_s values.

In this study, all barrette and bored piles were instrumented with vibrating wire strain gauges (VWSG). High capacity load test was carried out on 4 instrumented barrette piles and 26 instrumented bored piles to obtain the unit skin friction (f_s) and unit end bearing resistance (q_E).

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้เกี่ยวข้องต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและตรวจสอบผลวิจัยที่ได้ ตลอดจนผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนริญวงศ์ และ อาจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏาน ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัย และเนื่องจากผลวิจัยต้องใช้ข้อมูลผลการทดสอบจากบริษัทเอกชนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงขอขอบพระคุณทางบริษัทต่างๆ ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลและให้โอกาสในการศึกษาดูงานจากหน่วยงานก่อสร้างจริง

ท้ายนี้ผู้วิจัย ใคร่ขอขอบคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

นายชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์	ด
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย	5
2 ทฤษฎีแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สภาพชั้นดินกรุงเทพฯ	6
2.1.1 ลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ	6
2.1.2 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับดินกรุงเทพฯ	8
2.2 ชนิดของเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยและเทคนิคการก่อสร้าง	14
2.2.1 เสาเข็มเจาะ (Bored Pile)	14
2.2.2 เสาเข็มแบเรต (Barrette Pile)	15
2.2.3 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม (Base Grouted Pile)	16
2.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดในเสาเข็ม	18
2.3.1 Vibrating Wire Strain Gauge	18
2.3.2 Extensometer	19
2.4 การส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากเสาเข็มสู่ดินรอบๆ เสาเข็ม	20
2.4.1 การหาแรงตามแนวแกนโดย Vibrating Wire Strain Gauges	20
2.4.2 การหาแรงตามแนวแกนโดย Extensometer	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 การประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยว	21
2.5.1 วิธีสถิตยศาสตร์ (Static Method)	21
2.5.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test) ..	27
2.6 การคาดคะเนการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวแบบอีลาสติกตามวิธีของ Poulos	32
2.6.1 เสาเข็มเสียดทานด้านข้าง (Floating Pile)	32
2.6.2 เสาเข็มต้านทานที่ปลาย (End-Bearing Pile)	33
2.6.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการคาดคะเนการทรุดตัวของเสาเข็ม จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	38
 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	 45
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	45
3.1.1 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่รวบรวมได้และการแบ่งประเภท	45
3.1.1.1 เสาเข็มเจาะ	49
3.1.1.2 เสาเข็มแบเรต	51
3.1.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน	52
3.2 วิธีการวิเคราะห์และข้อจำกัดในการวิเคราะห์	53
3.2.1 การติดตั้ง Vibrating Wire Strain Gauges	53
3.2.2 การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม	54
3.2.2.1 ชั้นดินเหนียว	54
3.2.2.2 ชั้นทราย	55
3.2.3 การประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม	56
3.2.4 การประมาณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มและดินรอบนอก	57
4 การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย	58
4.1 การแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	58
4.1.1 เสาเข็มเจาะ	58
4.1.2 เสาเข็มแบเรต	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.7 การเปรียบเทียบและอภิปรายค่าพารามิเตอร์ของเสาเข็มแต่ละประเภท	95
4.7.1 ค่า adhesion factor	95
4.7.2 ค่า friction factor β ($K_s \tan \delta$)	103
4.7.3 ค่า Mobilized N_q	107
4.7.4 ค่า E_s	110
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	113
5.1 สรุปผลการวิจัย	113
5.1.1 การแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	114
5.1.2 พารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้าง ของเสาเข็ม	114
5.1.3 พารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม	114
5.1.4 ผลกระทบของมิติด้านสั้นและด้านยาวของเสาเข็มแบบเรียดต่อค่า แรงเสียดทาน	114
5.1.5 พารามิเตอร์สำหรับการประเมินค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม.....	115
5.1.6 เสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม	115
5.2 ข้อเสนอแนะ	116
รายการอ้างอิง	118
ภาคผนวก	122
ประวัติผู้เขียน	188

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1	แสดงคุณสมบัติชั้นพื้นฐานโดยทั่วไปของดินกรุงเทพฯ (Chin, 1972 และ Tonyagate, 1978)	7
2.2	แสดงค่า K_s และ δ สำหรับเสาเข็มตอกที่เสนอโดย Broms & Aas (1966)	24
3.1	ข้อมูลเสาเข็มทดสอบที่รวบรวมได้	47
3.2	เสาเข็มเจาะทดสอบที่รวบรวมได้	50
3.3	เสาเข็มแบริดทดสอบที่รวบรวมได้	52
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยใช้ทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) และ Mazurkiewicz (1972)	61
4.2	ผลการวิเคราะห์หาค่า Bearing Capacity N_c	77
4.3	ค่า E_s สำหรับเสาเข็มเจาะที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม	80
4.4	ค่า E_s สำหรับเสาเข็มแบริดที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม	81
4.5	ค่า E_s สำหรับเสาเข็มเจาะที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม	82
4.6	ค่า E_s สำหรับเสาเข็มแบริดที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม	82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะทั่วไปชั้นดินกรุงเทพฯ (Teparaksa, 1999).....	8
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ S_u (DM 7.1)	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ S_u (แมนสรวง, มนัสพลและณัฐพล, 2540).....	10
2.4 แรงดันน้ำสำหรับดินกรุงเทพฯ (Teparaksa, 1999)	11
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N (SPT) กับค่า ϕ' (Peck, Hanson & Thornburn, 1974) ...	13
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_u กับค่า σ'_{vo} (Peck, Hanson & Thornburn, 1974)	13
2.7 เครื่องมือเจาะเสาเข็มแบบเรียด	15
2.8 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มแบบเรียด	16
2.9 ลักษณะและการติดตั้งท่ออัดฉีดน้ำปุ้ในระบบ Tube-A-Manchettes	17
2.10 ลักษณะ Vibrating Wire Strain Gauge (VWSG)	19
2.11 ลักษณะและการติดตั้ง VWSG และ Extensometer ในเสาเข็ม	19
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่า S_u (Tomlinson, 1970)	22
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่า S_u สำหรับดินกรุงเทพฯ ฯ (Pimpasugdi, 1989) ...	23
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า $K_s \tan \delta$ กับค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ' (Vesic, 1967 และ Meyerhof, 1976)	25
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง bearing capacity factor ; N_q กับค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ' (Berezantzev, 1961 และ Meyerhof, 1976)	26
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง bearing capacity factor ; N_q กับค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ' (Pimpasugdi, 1989)	27
2.17 รูปแบบวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติจากการทดสอบเสาเข็ม (Fellenius, 1980)	31
2.18 Settlement Influence Factor, I_s (Poulos and Davis, 1980)	34
2.19 Compressibility Correction Factor, R_c (Poulos and Davis, 1980)	34
2.20 Depth Correction Factor, R_d (Poulos and Davis, 1980)	35
2.21 Poisson's Ratio Correction Factor, R_p (Poulos and Davis, 1980)	35
2.22 Base Modulus Correction Factor, R_b (Poulos and Davis, 1980)	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 ค่า E_s สำหรับเสาเข็มที่มีปลายหยั่งอยู่ในชั้นดินเหนียว (Pimpasugdi, 1989)	37
2.24 ค่า E_s สำหรับเสาเข็มที่มีปลายหยั่งอยู่ในชั้นทราย (Pimpasugdi, 1989)	37
2.25 ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้, F_c สำหรับเสาเข็มเสียดทานด้านข้างที่มีปลายเข็มในชั้นดินลึก (Poulos & Davis, 1980)	38
2.26 ผลของความหนาชั้นดินที่มีต่อค่าแฟคเตอร์ปรับแก้, F_c สำหรับเสาเข็มเสียดทานด้านข้างที่มีปลายเข็มในชั้นดินลึก (Poulos & Davis, 1980)	39
2.27 ก ค่า Interaction Factor, α_f สำหรับเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง, $L/d = 25$ (Poulos & Davis, 1980)	40
ข ค่า Interaction Factor, α_f สำหรับเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง, $L/d = 50$ (Poulos & Davis, 1980)	40
2.28 Correction Factor, N_n (Poulos & Davis, 1980)	41
2.29 ค่า Interaction Factor, F_e (Poulos & Davis, 1980)	41
2.30 ก. ค่า Interaction Factor, α_e สำหรับเสาเข็มด้านทานที่ปลาย, $L/d = 25$ (Poulos & Davis, 1980)	42
ข. ค่า Interaction Factor, α_e สำหรับเสาเข็มด้านทานที่ปลาย, $L/d = 50$ (Poulos & Davis, 1980)	43
2.31 ก. ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้, F_c สำหรับกรณีการใช้ Ground Anchors เป็นตัวต้านน้ำหนักสำหรับเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง (Poulos & Davis, 1980)	44
ข. ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้, F_c สำหรับกรณีการใช้ Ground Anchors เป็นตัวต้านน้ำหนักสำหรับเสาเข็มด้านทานที่ปลาย (Poulos & Davis, 1980)	44
3.1 เสาเข็มทดสอบที่เคยมีการทดสอบในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	46
3.2 ตำแหน่งการติดตั้ง VWSG	54
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q_u จาก Mazurkiewicz และ Q_u จาก Butler & Hoy สำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ	60
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q_u จาก Mazurkiewicz และ Q_u จาก Butler & Hoy สำหรับเสาเข็มแบริดในชั้นดินกรุงเทพฯ	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ S_u ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	64
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u/N กับ N ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	65
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ S_u ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	66
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u/N กับ N ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	66
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ S_u ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง	67
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u/N กับ N ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง	68
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_u \tan \delta$ กับค่ามุม ϕ' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	70
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u/N' กับค่า N' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	71
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_u \tan \delta$ กับค่ามุม ϕ' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	72
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u/N' กับค่า N' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	72
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_u \tan \delta$ กับค่ามุม ϕ' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง	73
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u/N' กับค่า N' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง	74
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mobilized N_u กับค่ามุม ϕ' สำหรับเสาเข็มเจาะที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	75

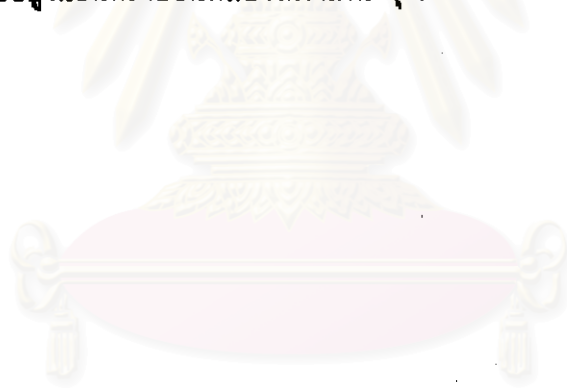
สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mobilized N_u กับค่ามุม ϕ' สำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง	76
4.17 การกระจายแรงภายนอกจากเสาเข็มสู่ดิน (DM 7.1)	79
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_s กับค่าน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของเสาเข็มสำหรับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	81
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_s กับค่าน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของเสาเข็มสำหรับเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	83
4.20 ตำแหน่งการติดตั้ง Vibrating Wire Strain Gauges (VWSG) ในเสาเข็มแบเร็ดทดสอบขนาด 1.50 x 3.00 เมตร ในโครงการ BECM Tower	84
4.21 การส่งถ่ายค่าน้ำหนักบรรทุกภายนอก (Load transfer) ด้านสั้นและด้านยาวของเสาเข็มแบเร็ด	85
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเสียดทานในแต่ละชั้นดินกับค่าทรุดตัวที่หัวเสาเข็มสำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ	87
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มกับค่าทรุดตัวที่หัวเสาเข็มสำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ	91
4.24 การเปรียบเทียบระหว่างผลการประมาณค่า Load – Deformation กับค่าที่บันทึกได้ ...	92
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่า S_u ในชั้นดินเหนียวจากผลการวิจัยสำหรับเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	97
4.26 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง β กับความลึก	99
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่า S_u ในชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	101
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u / N กับค่า N ในชั้นดินเหนียวจากผลการวิจัยสำหรับเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	102
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_s \tan \delta$ กับค่า ϕ' ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	104
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_s \tan \delta$ กับค่า ϕ' ในชั้นทรายจากผลการวิจัยสำหรับเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	105

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่	หน้า
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s / N' กับค่า N' ในชั้นทรายจากผลการวิจัยสำหรับ เสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	106
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mobilized N_u กับค่า ϕ' จากผลการวิจัยสำหรับเสาเข็ม เจาะที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองในชั้นดินกรุงเทพฯ	108
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mobilized N_u กับค่า ϕ' สำหรับเสาเข็มเจาะที่มีปลายอยู่ ในชั้นทรายชั้นที่สองในชั้นดินกรุงเทพฯ	109
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_s กับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็มจากผลการวิจัย สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองในชั้นดินกรุงเทพฯ	111
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_s กับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็มเจาะ ที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองในชั้นดินกรุงเทพฯ	112



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

A_p	=	พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
A_s	=	พื้นที่ผิวของเสาเข็มในช่วงที่รับแรง
d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเสาเข็ม
D	=	ความลึก
D_b	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายเสาเข็ม
e	=	Elastic Shortening
E_b	=	โมดูลัสของดินใต้ปลายเสาเข็ม
E_c	=	อิลาสติกโมดูลัสของคอนกรีต
E_p	=	อิลาสติกโมดูลัสของเสาเข็ม
E_s	=	อิลาสติกโมดูลัสของเหล็กเสริม
f_s	=	หน่วยแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม
F_c	=	ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ค่าการทรุดตัว
h	=	ความหนาชั้นดินจากหัวเสาเข็มถึงชั้นดินที่ไม่ทรุดตัว
I	=	สัมประสิทธิ์ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม
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
Q_u	=	ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม
q_b	=	หน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม
S	=	ค่าความเครียด (Strain)
S_u	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ
s	=	ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม
U	=	แรงดันน้ำ
W	=	น้ำหนักของเสาเข็ม

สัญลักษณ์ (ต่อ)

α	=	Adhesion Factor
α_F	=	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง
α_E	=	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของเสาเข็มด้านทานที่ปลาย
β	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้าง
δ	=	มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดิน
γ	=	หน่วยน้ำหนักของดิน
ϕ	=	มุมต้านแรงเฉือนของดิน
p	=	ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงที่หัวเสาเข็ม
p_m	=	ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ที่หัวเสาเข็ม
ν	=	Poisson Ratio
σ_{vo}	=	หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง ที่ระดับปลายเสาเข็ม
σ'_{vo}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง
σ'_v	=	หน่วยแรงประสิทธิผลที่กึ่งกลางชั้นดินที่พิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย