

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	3
การประมาณการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม	3
พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็ม	8
การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	10
การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม	15
การใช้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยของเสาเข็ม	18
พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ	18
วิธีการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรม	25
การวิเคราะห์ผลจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	25
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	29
อุปกรณ์	29
วิธีการวิจัย	29
ผลและวิจารณ์	40
พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ	40
เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินตามความลึกต่างๆ	54
อัตราส่วนปลอดภัย	63
การวิเคราะห์ห้กลับเพื่อหาพารามิเตอร์จากผลการทดสอบเสาเข็ม	66
การวิเคราะห์ผลทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธี	
Bi-Directional Static Load Test	73
สรุปผลการวิจัย	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	89
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือ วัดพฤติกรรม	94
ภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับ ค่าการทรุดตัว ของเสาเข็มทดสอบ	103
ภาคผนวก ค ลักษณะการถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต่างๆ	112
ภาคผนวก ง การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม	125
ภาคผนวก จ เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มลงสู่ชั้นดิน	132
ภาคผนวก ฉ การพัฒนาแรงต้านที่ปลายเสาเข็มจากการทดสอบ ด้วยวิธี Modified Mazurkiewicz	140

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานของลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ	15
2	การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มในรูปของน้ำหนัก บรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม	16
3	ประเภทของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	19
4	ค่าแรงเสียดทานของชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ	23
5	ผลการเปรียบเทียบหน่วยแรงเสียดทานและแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม	23
6	ฐานข้อมูลรายงานผลการทดสอบเสาเข็ม	29
7	รายละเอียดข้อมูลของเสาเข็ม	31
8	ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มทดสอบ	41
9	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในแต่ละชั้นดิน	46
10	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มของดินทั้ง 3 ประเภทจากน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด	55
11	เปอร์เซ็นต์ในการถ่ายแรงของเสาเข็มแรงเสียดทานที่ผิวกับแรงต้าน ที่ปลายเสาเข็มสภาวะที่เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	57
12	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มของดินทั้ง 3 ประเภทจากสภาวะใช้งาน	58
13	เปอร์เซ็นต์ในการถ่ายแรงของเสาเข็มแรงเสียดทานที่ผิวกับแรงต้านที่ปลาย เสาเข็มสภาวะที่เสาเข็มใช้งาน	60
14	เปอร์เซ็นต์ค่าการทรุดตัวที่ปลายเสาเข็มเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง กลางเสาเข็ม	62
15	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม โดยวิธี Mazurkiewicz	64
16	สรุปค่าอัตราส่วนปลอดภัยของเสาเข็ม	65
ตารางผนวกที่		
ก1	ลักษณะการเปรียบเทียบลักษณะของชนิดวิธีการทดสอบ	99

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Undrained Shear Strength กับค่า Adhesion Factor, α	5
2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามมเสียดทานภายใน กับค่า Bearing Capacity Factor (N_q)	7
3	ค่า Bearing Capacity Factor (N_c) ตามทฤษฎีของ Skempton	8
4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม	9
5	ลักษณะการถ่ายน้ำหนักบรรทุกตามหลักกลศาสตร์ของเสาเข็มลงสู่ชั้นดิน	11
6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของเสาเข็มกับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดสูงสุด	12
7	ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มและการเคลื่อนตัวของเสาเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ	13
8	วิธีการของ Housel (1956)	17
9	วิธีการของ Chellis (1961)	17
10	วิธีการของ Fuller & Hoy (1970)	17
11	วิธีการของ Fellenius (1975)	17
12	วิธีการของ Whitaker (1970)	17
13	วิธีการของ Chin (1970)	17
14	วิธีการของ Mazurkiewicz (1972)	17
15	วิธีการของ Davisson (1970)	17
16	ลักษณะทั่วไปของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	19
17	ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ ในชั้นดินกรุงเทพฯ	22
18	ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มและพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธี Modified Mazurkiewicz	24
19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัว	26
20	แสดงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการทรุดตัวมาก	26
21	ประมาณแรงต้านที่ปลายเสาเข็มจากการทดสอบ Cyclic Load Test	28

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	แผนที่ที่ตั้งแต่ละ โครงการ	30
23	การสอบเทียบ (Calibrate) เพื่อหาค่า Pile Stiffness ของเสาเข็มตลอดทั้ง ความยาว	33
24	การจำลองลักษณะของเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมต่างๆ	35
25	ผลต่างน้ำหนักที่กระทำระหว่าง Strain Gauge ตลอดความยาวเสาเข็ม	36
26	วิธี Mazurkiewicz แบบเดิม	39
27	วิธี Modified Mazurkiewicz	39
28	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้นที่ P5	41
29	ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ ในชั้นดินเสาเข็ม ต้นที่ P5	42
30	ผลต่างของน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่แต่ละประเภทของชั้นดินเสาเข็มต้นที่ P5	43
31	ผลการทดสอบความสมบูรณ์และผลลักษณะการเอียงตัวของเสาเข็มต้นที่ P5	44
32	ค่าความเครียดที่ระดับความลึกต่างๆ ของเสาเข็มต้นที่ P5	44
33	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มต้นที่ P5	45
34	ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่ผิวของแต่ละชั้นดิน	47
35	ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่ผิวของชั้นดินตามความลึก	47
36	พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดิน Very Soft to Soft Clay	48
37	พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดิน Medium Clay	49
38	พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดิน Stiff to Very Stiff Clay	50
39	พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดิน 1 st Sand	51
40	พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดิน Hard Clay	52
41	พฤติกรรมการพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดิน 2 nd Sand	53
42	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มต้นที่ P5	54
43	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดิน Very Soft to Soft Clay	55
44	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดิน Stiff to Very Stiff Clay	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
45	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดิน Dense to Very Dense Sand	56
46	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดิน Very Soft to Soft Clay	58
47	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดิน Stiff to Very Stiff Clay	59
48	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดิน Dense to Very Dense Sand	59
49	เปอร์เซ็นต์การพัฒนาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม	61
50	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวกับแรงเฉือนกำลังรับแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียว	67
51	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวกับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียว	67
52	ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทรายกับมุมต้านทานภายในของทราย	68
53	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทรายกับมุมต้านทานภายในของทราย	69
54	ภาพขยายเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทรายกับมุมต้านทานภายในของทราย	69
55	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Factor กับค่ามุมต้านทานภายในของทราย	71
56	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Factor กับค่ามุมต้านทานภายในของทราย	72
57	การทดสอบเสาเข็มวิธี Osterberg Cell โดยทำการแยกส่วนของเสาเข็มออกเป็น 3 ส่วน	74
58	การส่งถ่ายแรงของเสาเข็มต้นที่ P7 จากการทดสอบ Osterberg Cell	74
59	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวต้น P7 ในแต่ละรอบ	75
60	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวทั้งหมดต้นที่ P7 (Total Pile Settlement)	76
61	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มต้นที่ P7 ด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
62	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มต้นที่ P8 ด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test	77
63	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มต้นที่ P7 (Cell Top) ด้วยวิธีการทดสอบเสาเข็ม Bi-Directional Static Load	78
64	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มต้นที่ P7 (Cell Bottom) ด้วยวิธีการทดสอบเสาเข็ม Bi-Directional Static Load	79
65	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวกับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียวด้วยวิธีการทดสอบเสาเข็ม Bi-Directional Static Load	80
66	ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทรายกับมุมด้านทานภายในของทรายด้วยวิธีการทดสอบเสาเข็ม Bi-Directional Static Load	81
67	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Factor กับค่ามุมด้านทานภายในของทรายด้วยวิธีการทดสอบเสาเข็ม Bi-Directional Static Load	83
ภาพผนวกที่		
ก1	แสดงรูปตัดของเครื่องมือทดสอบแบบ Statnamic	98
ก2	แสดงลักษณะแรง Axial Force ของการอัดแรงของ Hydraulic Jack ทั้ง 3 กรณี	99
ก3	แสดงตำแหน่ง Telltale Rods	101
ก4	แสดงตำแหน่ง Strain Gauges	101
ข1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P1	104
ข2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P2	104
ข3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P3	105
ข4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P4	105
ข5	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P5	106
ข6	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P6	106

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข7	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P7	107
ข8	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P8	108
ข9	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P9	109
ข10	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P10	110
ข11	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P11	110
ข12	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P12	111
ค1	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P1	113
ค2	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P2	114
ค3	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P3	115
ค4	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P4	116
ค5	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P5	117
ค6	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P6	118
ค7	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P7	119
ค8	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P8	120
ค9	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P9	121
ค10	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P10	122
ค11	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P11	123
ค12	การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P12	124
ง1	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P1)	126
ง2	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P2)	126
ง3	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P3)	127
ง4	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P4)	127
ง5	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P5)	128
ง6	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P6)	128
ง7	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P7)	129
ง8	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P8)	129
ง9	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P9)	130

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง10	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P10)	130
ง11	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P11)	131
ง12	การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P12)	131
จ1	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P1)	133
จ2	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P2)	133
จ3	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P3)	134
จ4	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P4)	134
จ5	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P5)	135
จ6	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P6)	135
จ7	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P7)	136
จ8	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P8)	137
จ9	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P9)	138
จ10	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P10)	138
จ11	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P11)	139
จ12	เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P12)	139
ฉ1	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P1	141
ฉ2	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P2	141
ฉ3	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P3	141
ฉ4	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P4	142
ฉ5	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P5	142
ฉ6	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P6	142
ฉ7	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P10	143
ฉ8	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P11	143
ฉ9	การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P12	143