

การประเมินค่าคุณสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับกำลังรับน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็ม
ในรูปค่าทะลุทะลวงมาตรฐานของทรายชั้นที่สองของชั้นดินกรุงเทพฯ



นายวิจิตร แก้วปัญญา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2534

ISBN 974-579-318-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017310 117837331

1

SOIL PARAMETER FOR PILE CAPACITY AND SETTLEMENT PREDICTION IN
TERMS OF SPT(N) VALUE OF SECOND SAND LAYER
IN BANGKOK SUBSOIL

Mr. Wichin Kaewpunya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

1991

ISBN 974-579-318-3



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินค่าคุณสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับกำลังรับน้ำหนักและ
 การทรุดตัวของเสาเข็มในรูปค่าทะลุทะลวงมาตรฐานของ
 ชั้นทรายชั้นที่สองของชั้นดินกรุงเทพฯ
 โดย นายวิจิตร แก้วปัญญา
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ขำรักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)

.....
 (รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวยการ)

.....
 (รองศาสตราจารย์ ประจित จิรัปปภา)

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ขำรักษ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วจินต์ แก้วปัญญา : การประเมินค่าคุณสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับการกำลังรับน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็มในรูปค่าทะลุทะลวงมาตรฐานของชั้นทรายชั้นที่สองของชั้นดินกรุงเทพฯ (SOIL PARAMETER FOR PILE CAPACITY AND SETTLEMENT PREDICTION IN TERMS OF SPT(N) VALUE OF SECOND SAND LAYER IN BANGKOK SUBSOIL) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุรจักร สัมพันธ์รักษ์, 319 หน้า.
ISBN 974-579-318-3

ความคลาดเคลื่อนของการคาดคะเนพฤติกรรมของเสาเข็มเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ 1) วิธีการคาดคะเน และ 2) ค่าคุณสมบัติที่ถูกนำมาใช้ โดยมูลเหตุของปัญหาในหัวข้อที่ 2 คือ ค่าคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการออกแบบขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้าง เพื่อชดเชยปัญหาเหล่านี้ผู้เขียนจึงเลือกที่จะใช้วิธีการคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็มประกอบกับผลการเจาะสำรวจชั้นดินสำหรับเสาเข็มที่มีการก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษากรณีที่เสาเข็มเจาะที่ปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่ 2 โดยใช้ค่าการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (N) และน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (P) ในการประเมินค่า N_q และ E_s สำหรับการออกแบบ

ผลการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า ค่าตัวประกอบรับแรงต้านปลายเสาเข็มเจาะ (จำนวน 14 ดัน) ในชั้นทรายชั้นที่ 2 (N_q) กับค่าการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (N) สำหรับกรณีนี้ (1) ไม่มีการปรับแก้ค่า N และ (2) มีการปรับแก้ค่า N มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$N_q = 5.14 \exp(0.00563 N), \quad (r^2 = 0.533) \dots (1)$$

$$N_q = 5.25 \exp(0.013 N), \quad (r^2 = 0.395) \dots (2)$$

ในขณะเดียวกันสรุปได้ว่า ค่า pile - soil modulus E_s กับค่า working load P ของเสาเข็มทดสอบ 42 ดัน มีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$E_s = 1157 \exp(0.0147 P), \quad r^2 = 0.812 \quad (\text{เสาเข็มตอกในชั้นทรายชั้นที่ 1})$$


$$E_s = 2735 \exp(0.00223 P), \quad r^2 = 0.480 \quad (\text{เสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 1})$$

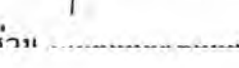
$$E_s = 3124 \exp(0.00112 P), \quad r^2 = 0.260 \quad (\text{เสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 2})$$



ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต วจินต์ แก้วปัญญา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

WICHIN KAEWPUNYA : SOIL PARAMETER FOR PILE CAPACITY AND SETTLEMENT PREDICTION IN TERMS OF SPT(N) VALUE OF SECOND SAND LAYER IN BANGKOK SUBSOIL. THESIS ADVISOR : ASSI. PROF.SURACHAT SAM-BHANDHARAKSA, Ph.D. 319 pp.

Most of the pile foundation design problems are caused by the determinations of suitable soil parameter. Piling method affects the soil properties, causes complicated stress system that can not be simulate in the field or laboratory testing. To compensate these problems back analysis of pile load testdata is made for obtaining parameters for the design. This study concentrates on developing the correlations between the soil parameters (N_q and E_s) for the design of bored pile in the second sand layer and SPT or the working load.

From the study, the relations of the end bearing factor N_q obtained from 14 bored pile data in second sand layer and the SPT value are shown in equation 1 and 2 for the uncorrected and corrected SPT condition respectively.

$$N_q = 5.14 \exp(0.00563 N) \quad (r^2 = 0.533) \quad (1)$$

$$N_q = 5.25 \exp(0.013 N) \quad (r^2 = 0.395) \quad (2)$$

Relations of the pile soil modulus E_s and the working load P are estimated from 42 pile load test data as follows.

(i) $E_s = 1157 \exp(0.0147P)$, $r^2=0.812$ (driven pile in 1st sand)

(ii) $E_s = 2753 \exp(0.00223P)$, $r^2=0.480$ (bored pile in 1st sand)

(iii) $E_s = 3124 \exp(0.00112P)$, $r^2=0.260$ (bored pile in 2nd sand)

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา. 2533.....

ลายมือชื่อนิสิต *วิศิษฐ์ เกษมทรัพย์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Surachat*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์วารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นที่สุด ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนวิชาความรู้ต่าง ๆ ตลอดจนทุ่มเทเวลาส่วนตัวในการให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการแก้ปัญหา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการทุกท่านที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณเกียรติชัย ลิ่มทองคำ และคุณวรรณ เลิศเจริญฤทธิ์ ที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดผู้เขียนระลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ครู อาจารย์ตลอดจนญาติมิตร ที่ได้ส่งเสริมให้ผู้เขียนสำเร็จการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

วิจิตร แก้วปัญญา



สารบัญ

	หน้า
ปกในภาษาไทย	ก
ปกในภาษาอังกฤษ	ข
ผลการสอบวิทยานิพนธ์	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ท
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ทัวไป	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยย่อ	4
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย	6
2. ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา	8
2.1 สภาพของชั้นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	8
2.1.1 สภาพทั่วไป	8
2.1.2 สภาพชั้นดิน	11
2.1.3 สภาพความดันน้ำและหน่วยแรงประสิทธิผล ในชั้นดินกรุงเทพฯ	17

2.2	การประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยอาศัย สูตรสถิตยศาสตร์ (static formula)	23
2.2.1	พฤติกรรมของดินเมื่อถูก stress จากเสาเข็ม	25
2.2.2	ค่าคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการคาดคะเนกำลังรับ น้ำหนักของเสาเข็ม	28
2.2.3	วิธีในการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	42
2.3	การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มแบบอิลาสติกตาม วิธีของ Poulos	46
2.3.1	หลักการเบื้องต้น (Basic concept)	46
2.3.2	วิธีใช้ในการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม ตามทฤษฎีอิลาสติก	48
2.4	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มและการทดสอบ การทะลุทะลวงมาตรฐาน	61
2.4.1	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	61
2.4.2	การทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน	66
2.5	ความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างค่า SPT(N) กับ ค่า soil - parameter อื่นๆ	70
2.5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT(N) กับค่า soil - parameter ของดิน cohesionless ..	70
2.5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT(N) กับค่า soil-parameter ของดิน cohesive soil ...	77
3.	ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	81
3.1	ข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม (Pile load test)	81
3.2	ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil investigation) ...	82

4.	ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานและผลการวิจัย	93
4.1	ขั้นตอนการวิจัย	93
4.2	การวิเคราะห์หาสูตร Empirical สำหรับประเมินค่า Bearing Capacity Factor N_q ในรูปของค่า $N(SPT)$ สำหรับเสาเข็มเจาะที่จมในชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินใน กรุงเทพฯ	95
4.2.1	วิธีการวิเคราะห์	95
4.2.2	ผลการวิเคราะห์ค่า N_q	97
4.2.3	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_q กับ $N(SPT)$	102
4.2.4	การศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ได้จาก การวิจัยนี้กับผลการวิจัยในอดีต	104
4.2.5	เงื่อนไขและขอบเขตของการเอาค่า ตัวประกอบรับแรงดัด N_q ไปใช้ในการ คำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	115
4.3	การวิเคราะห์หา สูตร empirical สำหรับประเมินค่า pile - soil modulus (E_s) ในรูปของ working load	121
4.3.1	วิธีการดำเนินการหาค่า pile - soil modulus (E_s)	122
4.3.2	ผลการวิเคราะห์ค่า E_s	124
4.3.3	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_s กับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ งาน P	124
4.3.4	เงื่อนไขและขอบเขตของการเอาค่า E_s ไปใช้ ในการคำนวณค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม	138

4.4	การคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตามวิธี สถิตยศาสตร์โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่าง N_q กับ (SPT) สำหรับเสาเข็มเจาะที่จม ในชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	146
4.5	การคาดคะเนค่าการทรุดตัวแบบอัสติคโดยอาศัย ความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างค่า pile - soil modulus (E_s) กับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน P	147
5.	สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	159
5.1	สรุปผลการวิเคราะห์	160
5.2	ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	163
	เอกสารอ้างอิง	165
ภาคผนวก		
ก.	รายละเอียดผลการทดสอบเสาเข็มและข้อมูลหลุมเจาะดิน ที่ใช้วิจัย	173
ข.	สมการเส้นถดถอยแบบเส้นตรงและสูตร estimate ค่า parameter ต่าง ๆ	292
ค.	ผลการวิเคราะห์ค่า ULTIMATE LOAD โดยวิธี Mazurkiewicz ..	295
ง.	ตัวอย่างการคำนวณค่า N_q , E_s , P และ ρ	304
	ประวัติผู้เขียน	319

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพฯ (CHIN , 1972 ; TONYAGATE, 1978)	14
2.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Tsai, 1982)	16
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับเสาเข็มเจาะในดินเหนียว	32
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ ϕ	72
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ q_u	73
3.1 แสดงรายละเอียดของโครงการ	84
3.2 แสดงรายละเอียดโดยย่อของการทดสอบเสาเข็ม	86
3.3 แสดงรายละเอียดโดยย่อของผลการเจาะสำรวจชั้นดิน	88
4.1 แสดงการคำนวณแรงเสียดทานด้านข้างเสาเข็มสำหรับเสาเข็มเจาะ ซึ่งมีระดับปลายเสาเข็มที่ชั้นทรายชั้นที่ 2 วิเคราะห์ตามวิธี short term condition	98
4.2 แสดงการคำนวณค่าตัวประกอบหน่วยแรงด้านทานปลายเสาเข็มสำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 2 วิเคราะห์ตามวิธี short term condition	101
4.3 แสดงค่าหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มเจาะในชั้นดินเหนียวแข็งของชั้นดินกรุงเทพฯมหานคร	105
4.4 แสดงค่าหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มเจาะในชั้นทรายของชั้นดินกรุงเทพฯมหานคร	109
4.5 แสดงค่าหน่วยแรงด้านทานปลายเสาเข็มเจาะในชั้นทรายของชั้นดินกรุงเทพฯมหานคร	112

4.6	แสดงค่า N_q ของดินที่ปลายเสาเข็มเจาะในชั้นทรายของ ชั้นดินกรุงเทพมหานคร	116
4.7	แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า E_s ของเสาเข็มตอกใน ชั้นทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	125
4.8	แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า E_s ของเสาเข็มเจาะในชั้น ทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	128
4.9	แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า E_s ของเสาเข็มเจาะในชั้น ทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	131
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน P กับค่า pile - soil modulus E_s ของเสาเข็มที่ก่อสร้างใน กรุงเทพมหานคร	139
4.11	แสดงรายการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของเสาเข็ม เจาะในชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	148
4.12	แสดงค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคาดคะเน ρ_{cr} โดยอาศัย ความสัมพันธ์ 4.3 กับค่าการทรุดตัวที่วัดได้สำหรับเสาเข็ม ตอกในชั้นทรายชั้นที่ 1	153
4.13	แสดงค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคาดคะเน ρ_{cr} โดยอาศัย ความสัมพันธ์ 4.4 กับค่าการทรุดตัวที่วัดได้สำหรับเสาเข็ม เจาะในชั้นทรายชั้นที่ 1	154
4.14	แสดงค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคาดคะเน ρ_{cr} โดยอาศัย ความสัมพันธ์ 4.5 กับค่าการทรุดตัวที่วัดได้สำหรับเสาเข็ม เจาะในชั้นทรายชั้นที่ 2	155

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าตัดชั้นดินตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยาจากอุษุขงาถึงชายฝั่ง อ่าวไทย (ว.ส.ท. 2520)	9
2.2 หน้าตัดชั้นดินตามแนวขวางแม่น้ำเจ้าพระยาจากราชบุรี ถึงชลบุรี (ว.ส.ท. 2520)	9
2.3 ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร (After Brand and Arbhabhirama , 1973)	10
2.4 ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครแนวเหนือ-ใต้ (After Kurdsuwan, 1984)	12
2.5 ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครแนว ตะวันออก-ตะวันตก (After Kurdsuwan, 1984)	12
2.6 ลักษณะสภาพชั้นดินทั่วไปในบริเวณกรุงเทพมหานคร (After Kurdsuwan, 1984)	13
2.7 ความสัมพันธ์ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งกับความลึก ของชั้นดินกรุงเทพฯ (Kurdsuwan, 1984)	18
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานภายในกับผลการทดสอบ การทะลุทะลวงมาตรฐานสำหรับดินทรายปนดินเหนียว (วีรพันธ์, 2526)	20
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(SPT) กับค่า ϕ Peck, Hansen & Thornburn (1974)	21
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_n กับ $6'_{\nu_0}$ Peck, Hansen & Thornburn (1974)	22
2.11 สัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับเสาเข็มตอกในดินเหนียว (After Mc Clelland, 1974)	29

2.12	สัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับเสาเข็มตอกในดินเหนียวใต้ ชั้นทรายหรือกรวด (Tomlinson, 1970)	29
2.13	แสดงสัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับเสาเข็มตอกในดินเหนียว (Tomlinson, 1970)	31
2.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ S_u สำหรับเสาเข็มตอก ในดินเหนียวที่เสนอโดย Flatte (1968).....	31
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็มตอก กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสำหรับดินเหนียว กรุงเทพฯ (HOLMBERG(1970), วีรพันธ์(2526))	32
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็มเจาะ กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสำหรับดินกรุงเทพฯ (NG, 1983)	34
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็มเจาะ กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (NG(1983), สุวรรณ(2531) ,Pimpasugdi(1989))	34
2.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ กับ K_s ของดินทรายในส่วนที่อยู่ ในความลึกลับิกฤติ เสนอโดย Meyerhof(1976)	35
2.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_u กับค่า ϕ สำหรับเสาเข็มใน ชั้นทราย เสนอโดย Meyerhof(1976)	35
2.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกลับิกฤติ/ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง กับค่ามุมเสียดทานภายในและค่าสัมประสิทธิ์แรงฝืดด้านข้างกับ ค่ามุมเสียดทานภายใน	37
2.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า θ กับ ϕ สำหรับเสาเข็มเจาะ ในชั้นดินกรุงเทพฯ (สุวรรณ, 2531) โดยเปรียบเทียบกับ ค่าที่เสนอโดย Meyerhof (1976)	37

2.22	ค่าตัวประกอบการรับแรงต้านปลายเสาเข็ม (After Meyerhof (1976))	40
2.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการรับแรงต้านปลายเสาเข็ม กับมุมเสียดทานภายใน (After Berezantzev et al., 1961)	40
2.24	ค่าตัวประกอบการรับแรงต้านปลายเสาเข็มสำหรับเสาเข็ม ดอกในทราย (After Berezantzev et al., 1961; Meyerhof, 1976)	41
2.25	Bearing Capacity Factor สำหรับเสาเข็มดอกใน cohesionless soil	42
2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการรับแรงต้านปลายเสาเข็มเจาะ กับค่ามุมเสียดทานภายใน (VESIC, 1963; NG, 1983; สุวรรณ, 2531)	43
2.27	ลักษณะการกระจายของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งของ ดินทรายเป็นเสาเข็ม	46
2.28	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของเสาเข็มแบบอีลาสติก	50
2.29	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของแบบอีลาสติกของดินใต้เสาเข็ม	50
2.30	ค่าปรับแก้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มอันเนื่องจากการ ยุบอัดตัวได้ของเสาเข็ม	51
2.31	ค่าปรับแก้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มอันเนื่องจากความลึกที่ จำกัดของชั้นดิน	51
2.32	ค่าปรับแก้การทรุดตัวของเสาเข็มอันเนื่องจาก Poisson's ratio	52
2.33	ค่าปรับแก้การทรุดตัวของเสาเข็มอันเนื่องจากการยุบ อัดตัวได้ของดินปลายเสาเข็ม	52

2.34	ค่า Interaction factor สำหรับเสาเข็มลอย (floating pile) ซึ่งมีค่า $L/D = 10$	55
2.35	ค่า Interaction factor สำหรับเสาเข็มลอย (floating pile) ซึ่งมีค่า $L/D = 25$	55
2.36	ค่า Interaction factor สำหรับเสาเข็มลอย (floating pile) ซึ่งมีค่า $L/D = 50$	56
2.37	ค่า Interaction factor สำหรับเสาเข็มลอย (floating pile) ซึ่งมีค่า $L/D = 100$	56
2.38	ค่าปรับแก้ค่า Interaction factor N_h สำหรับชั้นดิน ที่มีความลึกจำกัด	57
2.39	ค่า Interaction factor α_E สำหรับเสาเข็มดาล (end - bearing) ซึ่งมีค่า $L/D = 10$	57
2.40	ค่า Interaction factor α_E สำหรับเสาเข็มดาล (end - bearing) ซึ่งมีค่า $L/D = 25, 50$ และ 100	58
2.41	ค่า Interaction reduction factor F_E	60
2.42	แสดงวิธีการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (Ultimate load) ตามวิธีที่เสนอโดยนักวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา	64
2.43	แสดงบทสรุปของผลการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (Ultimate load) ตามการคาดคะเนของนักวิจัยต่างๆ	65
2.44	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายใน ϕ กับค่า N ในทราย (Peck (1958), Meyerhof (1956), Osaki (1987))	74
2.45	แฟคเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ค่า N ในดิน cohesionless soil เนื่องจาก อิทธิพลของความกดดันประสิทธิผลจากน้ำหนักดินชั้นบน ที่เสนอโดย Peck, Hansen และ Thornburn (1974)	74

2.46	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบรับแรงต้านปลาย เสาเข็มและค่า $N(SPT)$ กับค่ามุมเสียดทานภายใน (Peck, Hansen & Thornburn(1974))	75
2.47	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_q กับค่า $N(SPT)$ ของ ดินเหนียวเสนอโดย Sower (1961) Navdocks DM - 7	79
3.1	แสดงตำแหน่งที่มีการทดสอบเสาเข็มเจาะสำรวจชั้นดิน	83
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT กับค่า N_q ของเสาเข็มเจาะ ในชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร เมื่อ N คือ ค่า SPT ที่ยังไม่ปรับแก้และ N' คือค่าที่ปรับแก้โดยค่า C_n ซึ่งถูกเสนอโดย (Peck, Hansen & Thornburn(1974)) ตามรูป 2.10	103
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวของ เสาเข็มเจาะในชั้นดินเหนียวแข็งของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	108
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม เจาะในชั้นทรายของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	111
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม เจาะในชั้นทรายของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	114
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N(SPT)$ กับค่า N_q ของเสาเข็ม เจาะในชั้นทรายของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	118
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานภายในกับค่า N_q ของ เสาเข็มเจาะในชั้นทรายของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	119
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานกับค่า pile - soil modulus ของเสาเข็มตอกในชั้นทรายชั้นแรก ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร	135
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pile - soil modulus ของ เสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 1 กับค่าน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งาน P	136

- 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pile - soil modulus กับค่า working load ของเสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร 137
- 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานกับค่า pile - soil modulus ของเสาเข็มที่มีการก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร 145
- 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติที่วัดได้จากการทดสอบ (P_{mea}) กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (P_{pre}) โดยอาศัยความสัมพันธ์ $N_q = 5.14 \exp(0.00563 N)$ เมื่อ N เป็นค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐานที่ยังไม่ได้ปรับแก้ที่ระดับปลายเสาเข็มเจาะของชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร 150
- 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติที่วัดได้จากการทดสอบ (P_{mea}) กับค่าที่ได้จากการทดสอบ (P_{mea}) โดยอาศัยความสัมพันธ์ $N_q = 5.25 \exp(0.013 N')$ เมื่อ N' เป็นค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐานที่ปรับแก้โดยค่า C_n ตามรูป 2.10 ที่ระดับปลายเสาเข็มเจาะของชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร 151
- 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบ ρ_{mea} กับค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคาดคะเน $\rho_{predicted}$ ในกรณีเสาเข็มตอกในชั้นทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ 156
- 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบ ρ_{mea} กับค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคาดคะเน $\rho_{predicted}$ ในกรณีเสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ 157

4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบ

s_{meas} กับค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคาดคะเน $s_{predicted}$

ในกรณีเสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 2 ของชั้นดินกรุงเทพฯ..... 158

รายการสัญลักษณ์

Ap	=	พื้นที่หน้าตัดที่ปลายเสาเข็ม
As	=	พื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม
Ca	=	หน่วยแรงขีดเกาะของดินกับเสาเข็มในดินเหนียว
C	=	ค่าคงที่
d	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม
Db	=	ความลึกของเสาเข็มในส่วนที่จมอยู่ในชั้นทราย
d_p	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มที่ปลายเสาเข็ม
Dc	=	ค่าความลึกวิกฤติของเสาเข็มในทราย
Df	=	ความยาวของเสาเข็มที่จมอยู่ในดิน
Di	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน
Do	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน
Eb	=	ค่าโมดูลัสของดินที่ปลายเสาเข็ม
Ep	=	ค่าโมดูลัสของเสาเข็ม
Es	=	ค่าโมดูลัสของดินรอบเสาเข็ม
f_s	=	หน่วยแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม
h	=	ความลึกของชั้นดิน
I	=	สัมประสิทธิ์ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม
Io	=	สัมประสิทธิ์ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม
I_p	=	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของดิน
K	=	stiffness ของเสาเข็ม
Ko	=	สัมประสิทธิ์ความกดดินข้างชนิด at rest
Ks	=	สัมประสิทธิ์ความดันข้างของดิน
l	=	ความยาวของเสาเข็ม
L	=	ความยาวของเสาเข็ม
l_n	=	ความหนาของชั้นดินเล็ก ๆ
N	=	ค่าทดสอบแรงทะลุมาตรฐาน

Nc	=	ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงทานของดินเหนียว
Nb	=	ค่าทดสอบแรงทะลุมาตรฐานของดินที่ระดับเดียวกับปลายเสาเข็ม
Nq	=	ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงทานของชั้นดินทรายปนดินเหนียว
Ns	=	ค่าเฉลี่ยของการทดสอบแรงทะลุกลางมาตรฐานของดินตลอดความยาวของเสาเข็ม
P	=	น้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม
P	=	เส้นรอบรูปประสิทธิภาพของเสาเข็ม
Pu	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม
Ppred	=	ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มที่คำนวณได้
Pmea	=	ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มจากการทดสอบ
Pb	=	แรงต้านทานที่ปลายเข็ม
Ps	=	แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม
Pult	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม
q _p	=	หน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็ม
6' _{va}	=	หน่วยแรงประสิทธิภาพในแนวตั้งของดินด้านข้างเสาเข็ม
6' _{vb}	=	หน่วยแรงประสิทธิภาพในแนวตั้งของดินที่ปลายเข็ม
r	=	Correlation coefficient
r ²	=	Critical coefficient
Rb	=	สัมประสิทธิ์ปรับแก้เนื่องจาก pile comprssibility
Rk	=	สัมประสิทธิ์ปรับแก้เนื่องจาก stiffness of bearing stratum
Ra	=	พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพของเสาเข็ม
Ru	=	ค่าปรับแก้เนื่องจาก poisson's ratio
Su	=	ค่าหน่วยแรงเฉือนของดินแบบอันเดรน
Wp	=	น้ำหนักของเสาเข็ม
Z	=	ค่าความลึกของจุดวัดค่า N ในดินแข็ง
α	=	ค่าตัวประกอบการยึดเกาะ
α	=	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม
β	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงฝัดด้านข้างของเสาเข็มในชั้นทราย

α	=	หน่วยน้ำหนักของดิน
ϕ_u	=	มุมเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม
ϕ	=	มุมเสียดทานภายในของดิน
Δ	=	ค่าการทรุดตัววัดที่หัวเสาเข็ม
ρ	=	ค่าการทรุดตัววัดที่หัวเสาเข็ม
ρ_o	=	ค่าการทรุดตัวของดิน
α_F	=	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของเสาเข็มลอย
α_E	=	ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวของเสาเข็มคาล
F_E	=	ค่าตัวประกอบเนื่องจากยุบอัดตัวของดินใต้เสาเข็มคาล
μ	=	poisson's ratio