สมรรถนะของดินหนองงูเห่าเมื่อปรับปรุงด้วยเข็มปูนขาว โดยวิธีแทนที่ภายใต้คันดินทดสอบ

นาย วิโรจน์ ชนะนันทศักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-607-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17956175

PERFORMANCE OF PLACING LIME COLUMNS IN STABILIZING NONG NGU HAO CLAY UNDER TEST EMBANKMENTS

MR. VIROJ CHANANANTASAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-638-607-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะของดินหนองงูเห่าเมื่อปรับปรุงด้วยเข็มปูนขาวโดยวิธีแทนที่ภายใต้คันดินทดสอบ
โดย	นายวิโรจน์ ชนะนันทศักดิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์)

..... กรรมการ
(ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

วิโรจน์ ชนะนันทศักดิ์ : สมรรถนะดินหนองงูเห่าเมื่อปรับปรุงด้วยเข็มปูนขาวโดยวิธีแทนที่ภายใต้คันดินทดสอบ (Performance of Placing Lime Columns in Stabilizing Nong Ngu Hao Clay under Test Embankments) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ .อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.สุรฉัตร สัมพันธารักษ์. 176 หน้า . ISBN 974-638-607-7

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาเพื่อดูพฤติกรรมของการก่อสร้างคันดินบนดินเหนียวอ่อน ที่หนองงูเห่าโดยปรับปรุงดินด้วยเข็มปูนขาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตร ลึก 16 เมตร โดยใช้ Quicklime ทำเป็นเสาเข็มโดยวิธีแทนที่ดินเหนียว (Placing Lime Column) ในการศึกษาได้สร้างคันดินเป็นแปลงทดสอบ 2 แปลง โดยแปลงที่ 1 มีระยะห่างระหว่างเข็มที่ 1.2 เมตร และแปลงที่ 2 ห่าง 1.5 เมตร ทั้งสองแปลงมีการทำ (Lime mixing) ปิดทับหัวเข็มหนาประมาณ 1.0 เมตร และจะมีการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค เพื่อดูพฤติกรรมของดินและเสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักคันดินจากการถมทรายสูง 2.0 เมตร

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าหลังการติดตั้งเข็มปูนขาวพบว่าค่าความดันน้ำมีค่าต่ำลงเนื่องจากการดูดน้ำของเข็มปูนขาวและการก่อสร้างทำให้ดินถูกรบกวนทำให้ Strength และ Compressibility ต่ำลงโดยที่ Void Ratio ลดลง นอกจากนั้นหลังการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มยังเกิด Negative Skin Friction เป็นผลจากการวางปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นดินแข็งและการถ่ายเทน้ำหนักของเสาเข็มกับดินเหนียว

จากข้อมูลการทรุดตัวในสนามทำให้สามารถคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายที่จะเกิดขึ้นในสนามได้ เพื่อเป็นวิธีในการออกแบบ วิธีการของ Broms(1987) และ Poulos(1968) ให้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับการทรุดตัวสุดท้ายจากวิธีของ Hyperbolic และ Asaoka โดยคำนึงถึงผลของ Negative Skin Friction และ Undrained Movement โดยพิจารณาด้วยว่าเสาเข็มรับน้ำหนักทั้งหมด 75 % ของน้ำหนักทั้งหมด

จากการทดลองหาค่า CBR เฉลี่ยในแปลงที่ 1 เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างทางโดยใช้ Lime mixing เป็นชั้น Subgrade พบว่าได้ค่า CBR เท่ากับ 6 %

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C815302 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: PLACING LIME COLUMN / EXCESS PORE WATER PRESSURE / NEGATIVE SKIN FRICTION / SETTLEMENT

VIROJ CHANANANTASAK : PERFORMANCE OF PLACING LIME COLUMNS IN STABILIIZING NONG NGU HAO CLAY UNDER TEST EMBANKMENTS : THESIS ADVISOR ASSOC. PROF. DR. BOONSOM LERDHIRUNWONG ,ASSIST. PROF. DR. SURACHAT SAMBHANDHARAKSA , 176 PP. ISBN 974-638-607-7

This thesis presents the behaviour of embankment at Nong Ngu Hao which the soft clay is improved by using Placing Lime Column. The Placing Lime Column diameters are 0.40 metre and 16.0 metre depth located in the stiff clay. Two test sections have spacing of the Lime Column at 1.2 metre in test section 1 and 1.5 metre in test section 2. Lime mixing layer having the thinkness of 1.0 metre was used for load distribution purpose which can damage the embankment. Geotechnical instruments are installed at test sections for study the behaviour under load by sand fill 2.0 metre height.

Data from geotechnical instrumentation and the analysis indicate that : during construction of Lime Column,disturbance from construction and chemical reaction can result in the negative excess pore pressure ,this leads to the reduction in void ratio and compressibility in the NC range of soft clay ,but the decrease in undrained shear strength.

Upon filling of sand embankment ,2.0 metre height ,and the data from the geotechnical instrumentation ,they indicate that load transferred and the negative skin friction occurred. Settlement data from the field were used for estimating final settlement using Asaoka and Hyperbolic method. These results were compared with the estimations of settlement from Broms(1987)and Poulos(1968) method. They yield the reasonably compared results with the settlement estimated from field data.

The average of CBR in Test Section 1 for design pavement ,which used lime mixing to be subgrade, is 6 %

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท จีโอเทส จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างดินและติดตั้งอุปกรณ์ในสนาม และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปฐพี ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบดินและแนะนำในการใช้เครื่องมือ รวมทั้งขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจ

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา ครู อาจารย์ ที่ได้ส่งเสริมให้ผู้เขียนสำเร็จการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

วิโรจน์ ชนะนันทศักดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฏ
สัญญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 คำนำ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต 5
2.1 ชนิดของปูนขาว 5
2.2 ปฏิกิริยาพื้นฐานของดินเหนียวกับปูนขาว 6
2.2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทันที (Short term Reaction) 6
2.2.2 ปฏิกิริยาที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Long term Reaction) 7
2.3 กรรมวิธีการทำเข็มปูนขาว 7
2.3.1 เสาเข็มดินปูนขาว(Lime Column Method) 7
2.3.2 เสาเข็มปูนขาวแบบแทนที่(Placing Lime Column) 8
2.3.3 การกระจายน้ำหนักของดินและเสาเข็ม 10
2.4 หลักการพื้นฐานของการทรุดตัว 12
2.4.1 การทรุดตัวทันที หรือแบบ Undrained 12
2.4.2 การทรุดตัวต่อเนื่องกับเวลา (Time Dependent Settlement) 13
2.4.3 การประมาณการทรุดตัวทั้งหมด 14
2.5 การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัว 14

หน้า

2.5.1 การทรุดตัว 1 มิติโดยวิธีพื้นฐาน 14
2.5.2 การทรุดตัวจากวิธีของ Skempton และ Bjerrum 19
2.6 การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มโดยวิธี ปฐพีกลศาสตร์พื้นฐาน 22
2.6.1 การกระจายหน่วยแรงของฐานรากแบบเสาเข็ม 22
2.6.2 คุณสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ในการประมาณค่าการทรุดตัว 25
2.7 การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มโดยวิธี Modified Theory of Elasticity 26
2.7.1 การทรุดตัวในเสาเข็มเดี่ยว เมื่อรับแรงตามแนวแกน 26
2.7.2 การทรุดตัวของชั้นดินใต้เสาเข็มเนื่องจากเสาเข็มรับน้ำหนัก 27
2.7.3 ค่าการทรุดตัวสุดท้าย 31
2.7.4 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม 31
2.7.5 การประมาณค่าการทรุดตัวของดินเนื่องจาก Negative Skin Friction 36
2.8 การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Lime Column Method 38
2.9 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายจากกราฟ 39
2.9.1 การคาดคะเนการทรุดตัวจากกราฟโดยวิธี Hyperbolic 39
2.9.2 การคาดคะเนการทรุดตัวจากกราฟโดยวิธี Asaoka 39
2.10 กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนในสนาม 41
2.11 การวิเคราะห์หาค่า CBR กรณีของ Composite Soil 43
บทที่ 3 การทดลองและการวิจัย 45
3.1 คุณสมบัติดินบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา 48
3.1.1 คุณสมบัติดินก่อนการปรับปรุง 48
3.1.2 คุณสมบัติดินหลังการปรับปรุง 54
3.2 การทดสอบ Field CBR ในแปลงทดสอบ 63
3.3 การติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค(Geotechnical Instrument) 65
3.3.1 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค 69
3.4 วิธีการเก็บตัวอย่างดินในสนาม 74
3.5 การทดสอบ Dutch Cone Penetration 74

หน้า

3.6 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ 75
3.6.1 คุณสมบัติพื้นฐาน (Basic Properties) 75
3.6.2 การทดสอบ Consolidation 75
3.6.3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบ Unconsolidation Undrain Triaxial Compression test 76
3.7 การก่อสร้างเสาเข็มปูนขาวแบบ Placing Method และการถมทราย 76
3.8 การวัดข้อมูลทางธรณีเทคนิคในสนาม 77
3.9 ระยะเวลาและขั้นตอนการทำงานในสนาม 78
3.10 การแปลข้อมูลจากเครื่องมือธรณีเทคนิคในสนาม 78
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 80
4.1 พฤติกรรมของดินที่ปรับปรุงคุณภาพภายใต้น้ำหนักบรรทุก 80
4.1.1 พฤติกรรมของดินเนื่องจากผลกระทบของการก่อสร้าง 80
4.1.2 พฤติกรรมของดินและเสาเข็มปูนขาวเมื่อมีทรายถม 87
4.2 กลไกของพฤติกรรมของคันดินบนเสาเข็มปูนขาวแบบแทนที่ 108
4.2.1 ระหว่างการก่อสร้างเสาเข็ม 108
4.2.2 ระหว่างการถมทราย 109
4.3 การคาดคะเนการทรุดตัวทั้งหมดในสนาม 110
4.3.1 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายจากกราฟโดยวิธี Hyperbolic 110
4.3.2 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายจากกราฟโดยวิธี Asaoka 111
4.3.3 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายจากข้อมูลในสนาม 116
4.4 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายจากการคำนวน 117
4.3.1 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายโดยวิธีของ Poulos & Davis 119
4.3.2 การคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายโดยวิธีของ Broms 121
4.5 สรุปผลการคาดคะเนการทรุดตัวของแปลงทดสอบ 123
4.6 การวิเคราะห์หาค่า CBR กรณีของ Composite Soil 125
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ 126
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ 126
5.2 ข้อเสนอแนะ 128

หน้า

รายการอ้างอิง 129
ภาคผนวก ก - ข้อมูลดิบของการทรุดตัว, ความดันน้ำในดิน
และการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของแปลงทดสอบที่ 1 และ 2 132
ภาคผนวก ข - รายการคำนวน
- การตรวจสอบ Bearing Capacity 149
- การคาดคะเนการทรุดตัวจากข้อมูลความดันน้ำในสนาม 151
- การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Poulos 153
- การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Broms 163
ภาคผนวก ค - ผล Consolidation test 165
ประวัติผู้เขียน 176

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Quicklime กับน้ำ	5
2.2	Theoretical values of settlement ratio Rs friction pile groups with rigid cap in deep uniform soil mass	32
2.3	Theoretical values of settlement ratio Rs end-bearing pile groups with rigid cap in deep uniform soil mass	33
3.1	แสดงผลการเจาะสำรวจแปลงทดสอบที่ 1	49
3.2	แสดงผลการเจาะสำรวจของ Dummy area	50
3.3	แสดงคุณสมบัติดินจากการทดสอบ	55
3.4	แสดงผลการทดสอบ Oedometer Test	56
3.5	แสดงค่า Compressibility Ratio	57
3.6	แสดงค่า Coefficient of Consolidation	57
3.7	รายละเอียดจำนวนเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้ง	65
3.8	รายละเอียดของเครื่องมือธรณีเทคนิคกับความลึก	66
4.1	แสดงค่า Pore Water Pressure และ Ground Water Level	84
4.2	Excess Pore Water Pressure	85
4.3	แสดงค่าการทรุดตัวจริงในสนามกับการคำนวณโดยวิธีต่างๆ	124
ก-1	ตารางแสดงค่าการทรุดตัวที่วัดได้ของผิวดินและระดับลึกที่ TS-1 และ TS-2	133
ก-2	แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ IN1-1 ที่แปลงทดสอบที่ 1	137
ก-3	แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ IN1-2 ที่แปลงทดสอบที่ 1	142
ก-4	แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ IN2-1 ที่แปลงทดสอบที่ 2	144
ก-5	แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ IN2-2 ที่แปลงทดสอบที่ 2	146

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงบริเวณที่ทำการก่อสร้างท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯ แห่งที่ 2	4
2.1	ขั้นตอนการติดตั้งเข็มดินปูนขาว(Lime Column)	9
2.2	ขั้นตอนการติดตั้งเข็มปูนขาวแบบแทนที่(Placing Lime)	11
2.3	หลักการคำนวณการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ	16
2.4	องค์ประกอบต่างๆที่มีผลต่ออัตราการทรุดตัวครั้งที่ 2 (Ladd,1975)	18
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ A (Skempton และ Bjerrum)	20
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta u/\Delta\sigma_v$ และ OCR จาก Lee(1983)	21
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Settlement Ratio กับ OCR (Leonards)	21
2.8	แสดงการถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มกลุ่ม (Terzaghi&Peck ,Teng ,NAVFAC DM7-1)	23
2.9	แสดงการถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มกลุ่ม (Tomlinson,1979)	24
2.10	ค่า Influence Factor ,Io	28
2.11	ค่าปรับแก้สำหรับการยุบตัวได้ของเสาเข็ม ,Rk	28
2.12	ค่าปรับแก้สำหรับความลึกของชั้นดินแบกทาน ,Rh	28
2.13	ค่าปรับแก้สำหรับอัตราส่วนปัวซองของดิน ,Rυ	28
2.14	ค่าปรับแก้สำหรับความแข็งของชั้นดินแบกทาน ,Rb	29
2.15	ค่า Displacement Influence Factor ,Iρ	30
2.16	Relative importance of immediate settlement-pile groups with rigid cap	34
2.17	Diameter of equivalent pier to represent pile group	34
2.18	Reduction coefficient ξh for effect of finite layer	35
2.19	Reduction coefficient ξb for effect of bearing stratum	35
2.20	Correction factor $\xi\upsilon$ for effect of υs	35
2.21	Interaction curves for two end-bearing piles subject to negative skin friction	35
2.22	การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Hyperbolic	40
2.23	การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Asaoka	40
2.24	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวปรับแก้ค่า μ กับค่า PI (Ladd,1975)	42
3.1	แสดงตำแหน่งแปลงทดสอบบริเวณพื้นที่ปรับปรุง	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	แสดงผลการเจาะสำรวจของแปลงทดสอบที่ 1	51
3.3	แสดงผลการเจาะสำรวจของ Dummy Area	52
3.4	แสดงผลการทดสอบ Consolidation ตามความลึกของแปลงทดสอบที่ 1	53
3.5	แสดงค่าความดันน้ำในดินจาก Dummy area	58
3.6	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินและทดสอบ Cone Penetration Test	59
3.7	แสดงค่า Void Ratio กับความลึก	60
3.8	กราฟแสดงค่า Effective Overburden Pressure และ Maximum Past Pressure กับความลึก	61
3.9	แสดงค่า Compressibility Ratio กับความลึก	62
3.10	ตำแหน่งการทดสอบ Field CBR	64
3.11	แสดงรายละเอียดการติดตั้ง Geotechnical Instrumentation (plan view)	67
3.12	แสดงรายละเอียดการติดตั้ง Geotechnical Instrumentation (X-section)	68
4.1	แสดงเวลาการติดตั้งและการทำงานในสนาม	81
4.2	Excess Pore Water Pressure ของแปลงทดสอบที่ 1(TS-1)	83
4.3	แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Relative Movement ของเสาเข็มกับดินของแปลงทดสอบที่ 1(TS-1)	86
4.4	แสดงค่า Excess Pore Pressure ,การทรุดตัวของเสาเข็มกับเวลาที่แปลงทดสอบที่ 1 (TS-1)	90
4.5	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวของ Dummy Area เทียบกับเวลา	91
4.6	แสดงความดันน้ำใน Dummy Area กับเวลา	92
4.7	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวของเสาเข็มของแปลงทดสอบที่ 1 เทียบกับเวลา	93
4.8	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวจาก Extensometer ของแปลงทดสอบที่ 1 เทียบกับเวลา	94
4.9	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับเวลาของ IN1-1 ที่แปลงทดสอบที่ 1	96
4.10	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับความลึกของ IN1-1 ที่แปลงทดสอบที่ 1.	97
4.11	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับเวลาของ IN1-2 ที่แปลงทดสอบที่ 1	98
4.12	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับความลึกของ IN1-2 ที่แปลงทดสอบที่ 1.	99

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	Excess Pore Water Pressure ของแปลงทดสอบที่ 2 (TS-2)	101
4.14	แสดงค่าExcess Pore Pressure กับค่าการทรุดตัวของดินที่แปลงทดสอบที่ 2 (TS-2)	102
4.15	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับเวลาของ IN2-1 ที่แปลงทดสอบที่ 2	104
4.16	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับความลึกของ IN2-1 ที่แปลงทดสอบที่ 2.	105
4.17	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับเวลาของ IN2-2 ที่แปลงทดสอบที่ 2	106
4.18	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางข้างเทียบกับความลึกของ IN2-2 ที่แปลงทดสอบที่ 2.	107
4.19	กราฟแสดงการคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Hyperbolic ที่แปลงทดสอบที่ 1	112
4.20	กราฟแสดงการคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Asaoka ที่แปลงทดสอบที่ 1	113
4.21	กราฟแสดงการคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Hyperbolic ที่แปลงทดสอบที่ 2	114
4.22	กราฟแสดงการคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Asaoka ที่แปลงทดสอบที่ 2	115
ก-1	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบที่ 1 เทียบกับเวลา	134
ก-2	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบที่ 1 เทียบกับLog times	135
ก-3	แสดงความดันน้ำในแปลงที่ 1 กับเวลา	136
ก-4	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบที่ 2 เทียบกับเวลา	139
ก-5	กราฟแสดงค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบที่ 2 เทียบกับLog times	140
ก-6	แสดงความดันน้ำในแปลงที่ 2 กับเวลา	141
ค-1	ผล Consolidation test ที่ระดับ 2.00-3.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 1	166
ค-2	ผล Consolidation test ที่ระดับ 4.00-5.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 1	167
ค-3	ผล Consolidation test ที่ระดับ 6.00-7.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 1	168
ค-4	ผล Consolidation test ที่ระดับ 8.00-9.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 1	169
ค-5	ผล Consolidation test ที่ระดับ 12.00-13.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 1	170
ค-6	ผล Consolidation test ที่ระดับ 2.00-3.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 2	171
ค-7	ผล Consolidation test ที่ระดับ 4.00-5.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 2	172
ค-8	ผล Consolidation test ที่ระดับ 6.00-7.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 2	173
ค-9	ผล Consolidation test ที่ระดับ 8.00-9.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 2	174
ค-10	ผล Consolidation test ที่ระดับ 12.00-13.00 ม. ของแปลงทดสอบที่ 2	175

สัญญลักษณ์

A	=	Pore Pressure Parameter
As	=	พื้นที่ผิวของเสาเข็มที่เกิดแรงเสียดทานทางลบ
a	=	The Relative Column Area
a's	=	Area Ratio
CPT	=	Dutch Cone Penetration Test
CR	=	Compression Ratio
CBR	=	California Bearing Ratio
CBR_U	=	California Bearing Ratio ของดินชั้นบน
CBR_L	=	California Bearing Ratio ของดินชั้นล่าง
CBR_1	=	California Bearing Ratio ของเข็มปูนขาว
CBR_2	=	California Bearing Ratio ของดินระหว่างเข็ม
RR	=	Recompresssion Ratio
Cv	=	Coefficient of Permeability
d_b	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของปลายเสาเข็ม
E_u	=	Undrained Modulus
E_b	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นดินที่รับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็ม
e_o	=	Initial Void Ratio
fs_{neg}	=	หน่วยแรงเสียดทานทางลบสูงสุด
H	=	ระยะจากหัวเสาเข็มถึงความลึกที่พิจารณา
h	=	ความหนารวมของทั้งหมด
h_1	=	ความหนาของชั้น Lime Mixing
h_2	=	ความหนาของชั้น Improved Soil
I_o	=	Influence Factor
I_ρ	=	Displacement Influence Factor
$I_{0.5}$	=	Displacement Influence Factor สำหรับ $\upsilon = 0.5$
$I_{\upsilon's}$	=	Displacement Influence Factor สำหรับ υ แบบระบายน้ำ
L	=	ความยาวเสาเข็ม

สัญญลักษณ์ (ต่อ)

m_v	=	สัมประสิทธิการยุบอัดตัว (Coefficient of Compressibility)
M_{col}	=	The Compression Modulus of Column
M_{soil}	=	The Compression Modulus of Soil
OCR	=	Overconsolidation Ratio
P	=	น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนเสาเข็ม
q_c	=	Cone Resistance
r	=	ระยะห่างจากแกนกลางเสาเข็มไปยังจุดที่พิจารณา
R_S	=	Theoretical values of settlement ratio
R_k	=	ตัวปรับแก้การยุบตัวของเสาเข็ม
R_h	=	ตัวปรับแก้ความลึกของ Rigid Base
R_υ	=	ตัวปรับแก้อัตราส่วนป๋วซองของดิน
R_b	=	ตัวปรับแก้ของความแข็งของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม
R_A	=	อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่รอบนอกของเสาเข็มสำหรับเข็มตัน
S_u	=	Undrained Shear Strength
$S_u(FV)$	=	Undrained Shear Strength จากการทำ Vane Test
t	=	เวลาใดๆ ที่พิจารณา
t_{100}	=	ระยะเวลาสิ้นสุดการยุบอัดตัวคายน้ำ
ΔH	=	ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น
Δu	=	Excess Pore Water Pressure
Δh_1	=	ปริมาณการทรุดตัวของกลุ่มเสาเข็ม
Δh_2	=	ปริมาณการทรุดตัวของดินใต้กลุ่มเสาเข็ม
$\Delta \varepsilon_a$	=	ขนาดการเปลี่ยนแปลงความเครียดในแนวดิ่ง
$\Delta \overline{\sigma}_v$	=	ขนาดการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง
$\overline{\sigma}_{vo}$	=	Effective Overburden Pressure
$\overline{\sigma}_{vm}$	=	Effective Maximum Past Pressure
$\overline{\sigma}_{vf}$	=	Final Vertical Effective Stress

สัญญลักษณ์ (ต่อ)

μ	=	ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือน
α_d	=	ตัวลดผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง
γ_T	=	หน่วยน้ำหนักของมวลดิน
ρ_i	=	การทรุดตัวแบบทันทีทันใด
ρ_c	=	การยุบอัดตัวครั้งแรก
ρ_S	=	การยุบอัดตัวครั้งที่สอง
ρ_l	=	ปริมาณการทรุดตัวของเสาเข็มต้นเดียว
ξ_h	=	Reaction coefficient for effect of finite layer
ξ_b	=	Reaction coefficient for effect of bearing stratum
ξ_υ	=	Correction factor for effect of υs