

การประเมินค่าพารามิเตอร์และการคาดคะเนการทรุดตัวของถนนล้าวย
 บางนา-บางปะกง ซึ่งสร้างบนดินเหนียวชนิดโอเวอร์คอนโซลิดेट



นาย อภิชัย อึ้งอร่าม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530


ISBN 974-568-069-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012915

i 10008160

SOIL PARAMETER EVALUATIONS AND SETTLEMENT PREDICTIONS
OF BANGNA-BANGPAKONG HIGHWAY CONSTRUCTED ON OVERCONSOLIDATED CLAY



Mr. Apichai Eungaram

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-568-069-9



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินค่าพารามิเตอร์และการคาดคะเนการทรุดตัวของถนน
 ลายบางนา-บางปะกง ซึ่งสร้างบนดินเหนียวชนิดโอเวอร์คอนโซลิดเตด

โดย นาย อภิชัย อึ้งอร่าม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ สัมพันธ์รักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิทย์รักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
 (รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สีวาสักขณ์)

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ สัมพันธ์รักษ์)

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.บุญลิ่ม เลิศศิรินทร์วงศ์)



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินค่าพารามิเตอร์และการคาดคะเนการทรุดตัวของถนน
สายบางนา-บางปะกง ซึ่งสร้างบนดินเหนียวชนิดโอเวอร์คอน-
โวลต์เคต

ชื่อผู้ผลิต นาย อภิชัย ช้างอร่าม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ สัมพันธ์รักษ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2529

บทคัดย่อ

การทรุดตัวของสิ่งก่อสร้างบนดินเหนียวอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลนับเป็นปัญหาใหญ่ข้อหนึ่งในงานปฐพีวิศวกรรม ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการคาดคะเนการทรุดตัวของคันดินถม ซึ่งสร้างอยู่บนดินเหนียวชนิดโอเวอร์คอนโวลต์เคตบริเวณ กม.47 และ กม.52 ของถนนสายบางนา-บางปะกงด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ได้จากการทดสอบในสนามและในปฏิบัติการ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เกิดขึ้นจริง เพื่อหาข้อสรุปถึงค่าพารามิเตอร์ของดิน และวิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่บริเวณนี้ หรือบริเวณอื่นที่มีสภาพคล้ายกัน

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การทรุดตัวของคันดินถม 4 แห่ง ดังนี้

1. คันดินถมที่สร้างขึ้นเพื่อห้าทางแยก หรือเกาะกลางถนน ที่ กม.47
2. ถนนเก่าที่ กม.47
3. Block Valve 6 ที่ กม.52
4. ถนนเก่าที่ กม.52

การวิเคราะห์การทรุดตัวของคันดิน ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Terzaghi
วิธี Skempton-Bjerrum วิธีการของ Cox วิธีอีลาล์ดิกและวิธี Stress Path
(เฉพาะที่ BV # 6) ซึ่งในการวิเคราะห์ให้ผลสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณีคือ

1. กรณีระยะเวลาการก่อสร้างนาน (≈ 2 ปี) พบว่า วิธีการของ Cox ให้ค่า การทรุดตัวระหว่างก่อสร้าง และการทรุดตัวหลังก่อสร้างใกล้เคียงและสอดคล้องกับ mechanism ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งค่า Undrained Modulus (E_u) ควรได้มาจากการทดสอบ UU ที่ระดับหน่วย แรงเฉือน 80% และได้ว่า

$$E_u / \bar{\sigma}_{vo} = 30 - 120 \text{ เมื่อ } OCR = 1.5 - 6.0$$

$$E_u / S_u (\text{Vane}) = 45 - 70 \text{ เมื่อ } OCR = 1.5 - 6.0$$

2. กรณีระยะเวลาการก่อสร้างสั้น (< 3 เดือน) พบว่า วิธีการของ Cox วิธี ธีลาล์ดิกและวิธี Stress Path ให้ค่าการทรุดตัวระหว่างก่อสร้างใกล้เคียงกับค่าที่สำรวจได้ โดยวิธีการของ Cox ซึ่งได้พิจารณาการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำในช่วงอัดแน่นเกินตัวเฉพาะใน Crust เท่านั้น จะให้ mechanism ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริง และให้ค่าค่อนข้าง Conservative เล็กน้อย ขณะที่วิธีธีลาล์ดิก และวิธี Stress Path จะให้ mechanism ไม่ตรงตามที่เกิดขึ้นจริง โดยวิธี Stress Path สามารถวิเคราะห์ผลของ Undrained Creep และ Flow ได้ดีกว่าวิธีธีลาล์ดิก การที่วิธี Stress Path ให้ค่าการทรุดตัวใกล้เคียง กับที่สำรวจได้ ผู้วิจัยเชื่อว่าเป็นผลของการทดแทนกันระหว่าง Undrained Creep กับ Consolidation ซึ่งค่า E_u ควรได้จากการทดสอบ Stress Path ที่รวมผลของ Undrained Creep หรือได้จากการทดสอบ \overline{CK}_{UC} ที่ระดับหน่วยแรงเฉือน 80% และได้ว่า

$$E_u / \bar{\sigma}_{vo} = 70 - 180 \text{ เมื่อ } OCR = 1.5 - 6.0$$

$$E_u / S_u (\text{Vane}) = 110 - 140 \text{ เมื่อ } OCR = 1.5 - 6.0$$

ส่วนการทรุดตัวหลังก่อสร้างพบว่า วิธีการของ Cox และวิธี Skempton-Bjerrum ให้ค่าการทรุดตัวใกล้เคียงกับค่าที่สำรวจได้

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (C_v) ที่ ได้จากการคำนวณย้อนกลับของข้อมูลการทรุดตัวในสนามนี้ไม่ใช่สัมประสิทธิ์จริง ๆ ของดิน ค่า C_v ที่ ได้จากวิธี Lacasse มีค่าใกล้เคียงกับ C_v จากวิธี Terzaghi และมีค่าต่ำกว่า C_v จากวิธี Asaoka พอสมควร ส่วน C_v (Conso) มีค่าต่ำกว่ามาก ซึ่งจะได้ว่า

$$C_v(\text{Asaoka}) \approx 2 C_v(\text{Terzaghi, Lacasse})$$

$$C_v(\text{Asaoka}) \approx 9 - 12 C_v(\text{Conso.})$$

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า C_v ที่ได้จากรี Lacasse มีแนวโน้มที่จะใช้ได้ในงานกั้นดิน
ถมบริเวณที่ไม่มีภาระลุ่มน้ำบาดาล



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Thesis Title Soil Parameter Evaluations and Settlement
Predictions of Bangna-Bangpakong Highway
Constructed on Overconsolidated Clay

Name Mr. Apichai Fungaram

Thesis Advisor Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Sc.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1986

ABSTRACT

Settlement of the structures constructed on Soft Bangkok Clay is a crucial problem in geotechnical engineering and needs to be predicted with reasonable accuracy. The purpose of this thesis is to study several current practical methods for settlement predictions of embankment constructed on overconsolidated clay. The analyses are made at KM. 47 and 52 Bangna-Bangpakong highway, by using soil parameters obtained from field and laboratory tests. Results from analyses were compared with field measurements for evaluating the suitability of these methods and soil parameters.

The research concerns with the settlement analysis of the embankment on 4 sites as follows.

1. Interchange Fill at KM. 47
2. Old Highway at KM.47
3. Block Valve 6 at KM.52
4. Old Highway at KM. 52

2

The settlement analyses were performed by using Terzaghi, Skempton-Bjerrum, Cox, Elastic, Stress Path (only Block Valve 6) and Asaoka's method. The results from the analyses were the followings.

1. For long period construction ($t=2$ years), Cox's (1981) method shows the best prediction results for construction and post construction settlement. The undrained modulus should be obtained from UU test at 80% stress level. The suitable normalized of undrained moduli are the followings.

$$E_u/S_u(\text{Vane}) = 45 - 70 \text{ when } OCR = 1.5 - 6.0$$

$$E_u/\bar{\sigma}_{vo} = 30 - 120 \text{ when } OCR = 1.6 - 6.0$$

2. For rapid construction ($t < 3$ months), the construction settlement predicted from Cox's, elastic and stress path method also give the good results. Cox's method should only include the consolidation settlement in overconsolidated range for only crust portion for computing the construction settlement. The estimated settlement by Cox's method is reasonable than the stress path and elastic method. The stress path method, however, shows the results of undrained creep and flow better than the elastic method. Because of the compensation of undrained creep and consolidation settlement in the estimation of construction settlement, stress path method yield the closet results with actual settlement values recorded. The undrained moduli were obtained from stress path with creep or \overline{CK}_{UC} test at 80% stress level. The suitable normalized undrained moduli for these case are present below

$$E_u/\bar{\sigma}_{vo} = 70 - 180 \text{ when } OCR = 1.5 - 6.0$$

$$E_u/S_u(\text{Vane}) = 110 - 140 \text{ when } OCR = 1.5 - 6.0$$

For post construction settlement, Cox's (1981) and Skempton & Bjerrum's (1957) method give the good predicted result.

The coefficient of consolidation obtained from backfigured the field settlement data using Terzaghi, Lacasse and Asaoka's method are the apparent coefficient. It gives the corrected rate of settlement only. The backfigured coefficient of consolidation obtained from Asaoka's method is the highest value when they are compared with C_v back-analysis by using Terzaghi, Lacasse and one-dimensional consolidation method. This ratio is the following.

$$C_v(\text{Asaoka}) \quad 2 C_v(\text{Terzaghi, Lacasse})$$

$$C_v(\text{Asaoka}) \quad 9 - 12 C_v(\text{Conso.})$$

Rate of consolidation settlement estimated by using C_v (Lacasse) give the closet result in the region no subsidence effect.

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์ราษฎร์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางในการศึกษา เพื่อให้ งานวิทยานิพนธ์มีคุณค่า ตลอดจนให้การตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาสักขณ์ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญลุ่ม เลิศศิริวงศ์ ที่ได้กรุณาร่วมเป็น คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

อนึ่ง วิทยานิพนธ์นี้สัมฤทธิ์ผลได้ด้วยดีก็ด้วยการสนับสนุนด้านเงินทุนจากการปิโตรเลียม แห่งประเทศไทย ผู้เขียนขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนสำนึกในพระคุณของ บิดา มารดา ครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษานี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือ และช่วยเหลือเป็นอย่างดี

นาย อภิชัย อึ้งอร่าม

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
กิตติกรรมประกาศ.....	ญ
สารบัญ.....	ฉ
รายการตารางประกอบ.....	ค
รายการรูปประกอบ.....	ด
สัญลักษณ์.....	ป
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 ความสำคัญ.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย.....	6
2. ทฤษฎีและทบทวนผลงานในอดีต.....	7
2.1 แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการทรุดตัว.....	7
2.1.1 การทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlement).....	7
2.1.2 การทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา (Time-Dependent Settlement).....	7
2.1.2.1 การทรุดตัวเนื่องจาก Local Yield และ Undrained Creep	9

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.1.2.2 การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัว คายน้ำขั้นแรก (Consolidation Settlement) .	15
	2.1.2.3 การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัว คายน้ำขั้นที่สอง (Secondary Consolidation) .	15
	2.1.3 การทรุดตัวทั้งหมด (Total Settlement)...	16
2.2	การกระจายความเค้นในมวลดิน (Stress Distribution in Soil Mass).....	16
	2.2.1 วิธี Boussinesq.....	17
	2.2.2 วิธี Westergaard.....	17
	2.2.3 วิธี Burmister.....	17
	2.2.4 วิธี Multilayer Flexible Systems.....	17
2.3	ความดันน้ำโพรงเพิ่ม (Excess Pore Pressure)....	18
	2.3.1 วิธี Conventional Method.....	18
	2.3.2 วิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่.....	18
	2.3.2.1 วิธี Hoeg et al (1969).....	18
	2.3.2.2 วิธี Burland (1971).....	19
	2.3.2.3 วิธี Tavenas and Leroueil (1977).....	19
2.4	การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัว.....	22
	2.4.1 ขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์การทรุดตัว.....	22
	2.4.2 การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยใช้ข้อมูล จากการทดสอบ Oedometer.....	26
	2.4.2.1 วิธี Terzaghi.....	26

บทที่	สารบัญ (ต่อ)	หน้า
	2.4.2.2 วิธี Skempton and Bjerrum...	27
	2.4.2.3 วิธี Bjerrum.....	28
	2.4.2.4 วิธีการของ Cox (1981).....	34
2.4.3	การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยวิธี	
	Stress Path.....	35
2.4.3.1	หลักการของ Stress Path.....	35
2.4.3.2	วิธี Stress Path.....	36
	ก. วิธีการใช้ Stress Strain	
	Contours.....	36
	ข. วิธีการใช้ผลจากการทดสอบใน	
	ในห้องปฏิบัติการโดยจำลอง	
	Stress Path ให้เหมือนกับที่	
	เกิดขึ้นจริงในสนาม	
	(Procedure Using	
	Results of Laboratory	
	Test Duplicating Field	
	Effective Stress Path)	40
2.4.4	การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยใช้วิธีที่	
	รากฐานจากทฤษฎีelasติก (Elastic Theory)	43
2.4.4.1	วิธี Summation of the Vertical	
	Strains.....	43
2.4.4.2	วิธี Elastic Displacement	
	Theory.....	43
2.4.4.3	วิธี Modified Elastic	
	Displacement.....	44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.4.5 การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยวิธี Curve Fitting.....	51
	2.4.5.1 วิธีกราฟฟิคของ Asaoka.....	51
	2.4.5.2 วิธี Hyperbolic Fitting.....	54
	2.5 การคาดคะเนอัตราทรุดตัว	
	2.5.1 วิธี Terzaghi.....	54
	2.5.2 วิธี Lacasse.....	56
	2.5.3 วิธี Asaoka.....	59
	2.5.4 วิธี Stress Path.....	59
3.	วิธีการศึกษาและการทดลอง.....	61
	3.1 สถานที่ทำการศึกษา.....	61
	3.2 การติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี (Geotechnical Instruments).....	67
	3.3 การเจาะสำรวจและการทดสอบ Field Vane Shear..	67
	3.4 การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	71
	3.4.1 การทดลองเพื่อหา Basic Properties.....	71
	3.4.2 การทดลอง Consolidation.....	74
	3.4.3 การทดลอง Unconsolidated Undrained Triaxial Compression (UU Test).....	74
	3.4.4 การทดลอง K_0 -Consolidated Undrained Triaxial Compression with Pore Pressure Measurement ($\overline{CK}_0 UC$ Test)	74
	3.4.5 การทดสอบ Stress Path.....	84

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	89
4.1 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและในสนามที่ กม.47.....	89
4.1.1 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ฐาน.....	89
4.1.2 ผลการทดลอง Consolidation.....	89
4.1.3 ผลการทดลอง UU.....	93
4.1.4 ผลการทดลอง Field Vane.....	93
4.2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและในสนามที่ กม.52.....	96
4.2.1 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ฐาน.....	96
4.2.2 ผลการทดลอง Consolidation.....	96
4.2.3 ผลการทดลอง Field Vane.....	101
4.2.4 ผลการทดลอง $\overline{CK}_0 UC$	101
4.2.5 ผลการทดลอง Stress Path.....	106
4.3 ความดันน้ำโพรงแข็ง.....	127
4.3.1 ข้อมูลที่สำรวจได้ในสนาม.....	127
4.3.2 การคาดคะเนค่าความดันน้ำโพรงแข็ง.....	133
4.3.3 การเปรียบเทียบค่าความดันน้ำโพรงแข็งที่ได้จากการคาดคะเนกับค่าที่สำรวจได้ในสนาม.....	133
4.4 การคาดคะเนการทรุดตัว.....	139
4.4.1 การคาดคะเนการทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.47.....	140
4.4.1.1 การทรุดตัวทันที หรือการทรุดตัวระหว่างการก่อสร้าง.....	140
4.4.1.2 การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำขั้นแรก.....	144
4.4.1.3 การทรุดตัวทั้งหมด.....	144
4.4.2 การคาดคะเนการทรุดตัวของ เกาะกลางถนนที่ กม.47.....	144

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.4.2.1 การทฤษฎีตัวทึบสี.....	149
	4.4.2.2 การทฤษฎีตัวแบบอัดตัวคายน้ำขั้นแรก.	151
	4.4.2.3 การทฤษฎีตัวทั้งหมด.....	151
4.4.3	การคาดคะเนการทฤษฎีตัวของถนนเก่าที่ กม.52	155
	4.4.3.1 การทฤษฎีตัวทึบสี.....	155
	4.4.3.2 การทฤษฎีตัวแบบอัดตัวคายน้ำขั้นแรก	155
	4.4.3.3 การทฤษฎีตัวทั้งหมด.....	159
4.4.4	การคาดคะเนการทฤษฎีตัวของ BV # 6.....	159
	4.4.4.1 การทฤษฎีตัวทึบสี.....	159
	4.4.4.2 การทฤษฎีตัวแบบอัดตัวคายน้ำขั้นแรก	164
	4.4.4.3 การทฤษฎีตัวทั้งหมด.....	167
4.5	การวิเคราะห์อัตราการทฤษฎีตัว.....	167
	4.5.1 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์อัดตัวคายน้ำ.....	167
	4.5.2 อัตราการทฤษฎีตัว.....	169
4.6	การวิเคราะห์อัตราการยัดความตื้นน้ำที่เพิ่มขึ้น.....	171
5.	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	177
	5.1 สักงณะและคุณลักษณะของดินบริเวณที่ทำการศึกษา.....	177
	5.2 การคาดคะเนการทฤษฎีตัว.....	178
	5.3 อัตราการทฤษฎีตัว.....	180
	5.4 ความตื้นน้ำโพรงเพิ่ม.....	180
	5.5 ข้อเสนอแนะ.....	181
	เอกสารอ้างอิง.....	182
	ประวัติผู้เขียน.....	188

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	วิธีการคาดคะเนความดันน้ำโพรงเข็มเริ่มแรก.....	18
2.2	องค์ประกอบในการวิเคราะห์การทรุดตัว (Lambe, 1964, 1967b).	25
2.3	ค่า Shape และ Rigidity Factor ในการคำนวณหาการทรุดตัว ณ จุดต่าง ๆ บนพื้นที่แรงกระทำที่ผิวหน้าของ Elastic Half- Space (DM-7).....	45
3.1	ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคกรณีที่ กม.47.....	68
3.2	ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคกรณีที่ กม.52.....	69
3.3	วัตถุประสงค์ในการติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิค.....	70
3.4	ชนิดการทดสอบ ระดับความลึก และจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบที่ กม.47	72
3.5	ชนิดการทดสอบระดับความลึก และจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบที่ กม.52..	73
3.6	โปรแกรมการทดลอง $\overline{CK}_O UC$	75
3.7	โปรแกรมการทดสอบ Stress Path.....	85
4.1	สรุปผลการทดลองคุณสมบัติดินจากหลุมเจาะ DB-5 ที่ กม.47.....	92
4.2	สรุปผลการทดลองคุณสมบัติของดินจากหลุมเจาะ DB-6 ที่ BV # 6...	99
4.3	สรุปผลการทดลอง $\overline{CK}_O UC$	102
4.4	สรุปผลการทดสอบ Undrained Stress Path.....	115
4.5	สรุปผลการทดสอบ Drained Stress Path.....	116
4.6	ค่า E_u , $E_u/\bar{\sigma}_{vc}$ และ E_u/S_u (Vane) จากการทดสอบ Stress Path.....	120
4.7	ผลการคาดคะเนค่าความดันน้ำโพรงเข็มที่เกาะกลางถนน กม.47....	135
4.8	ผลการคาดคะเนค่าความดันน้ำโพรงเข็มที่ BV # 6.....	136
4.9	ค่าการทรุดตัวทันทีของถนนเก่าที่ กม.47.....	143
4.10	สรุปผลการคาดคะเนการทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.47.....	147
4.11	ค่าการทรุดตัวทันทีของเกาะกลางถนนที่ กม.47.....	150
4.12	สรุปผลการคาดคะเนการทรุดตัวของเกาะกลางถนนที่ กม.47.....	154

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ค่าการทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.52.....	158
4.14 สรุปลผลการคาดคะเนการทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.52.....	161
4.15 ค่าการทรุดตัวของ BV # 6.....	163
4.16 สรุปลผลการคาดคะเนการทรุดตัวของ BV # 6.....	168
4.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคาน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์โดย วิธีการต่าง ๆ.....	170



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	แนวทอ่ล่งก้าช่อรรมย่ำดบมกชองการช่อโตร เสียมแห่งประเทศไทย ระยะที่ 1 (ระบอง-กรุงเทพฯ).....	3
1.2	พื้นที่ที่ทำการศีกษา.....	4
2.1	แสดงสัถษณะรูปแบบความเครียด.....	8
2.2	แสดงการศำนวนการเกิด Local Yield ในมวลดิน.....	10
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับลือคชองเวลาในการเกิด Undrained Creep (ชู่ย่ำดี, 2527).....	11
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างลือคชองความเครียดกับลือคชองเวลาในการเกิด Undrained Creep (ชู่ย่ำดี, 2527).....	12
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างลือคชองอัตราความเครียดกับลือคชองเวลาใน การเกิด Undrained Creep (ชู่ย่ำดี, 2527).....	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้ำน้ำโพรงเพิ่มกับลือคชองเวลาในการเกิด Undrained Creep (ชู่ย่ำดี, 2527).....	14
2.7	แสดง Stress Path การเกิด Local Yield.....	20
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Excess Pore Pressure กับ Applied Vertical Stress (Tavenas, 1979).....	23
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ OCR (Lee, 1983).....	24
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง A กับ OCR (Lee, 1983).....	24
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจากการทดลือ Consolidation.....	29
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ A (Skempton & Bjerrum, 1957)	30
2.13	แสดง Instant และ Delayed Compression (Bjerrum, 1967).....	32
2.14	สัถษณะการทรุดตัวของ Slightly Overconsolidated Clays (Bjerrum, 1967).....	33
2.15	Stress Path ชองการทดลือ Triaxial (Lambe, 1967a)....	37

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16	38
Stress Path ของการทดลอม Consolidation (Lambe, 1967a).....	
2.17	38
Stress Path เมื่อความเครียดเป็นแบบ 3 มิติ.....	
2.18	39
Effective Stress Paths และ Strain Contours ของ Weathered Clay จากบางพลี (Balasubramaniam & Brenner, 1981).....	
2.19	42
ผลของ Rate of Loading ที่มีต่อ Effective Stress Path (Lambe, 1967a).....	
2.20	42
ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strains กับ Stress Path (Lambe, 1969).....	
2.21	46
ค่า μ_0 , μ_1 ที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัวทันที (Christian & Carrier, 1978).....	
2.22	47
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ Elasto-Plastic Material (Davis & Poulos, 1968).....	
2.23	48
ความสัมพันธ์ระหว่าง Settlement Ratio กับ Applied Stress Ratio สำหรับ Strip Load กระทั่งบน Isotropic Homogeneous Foundation (จาก D' Appolonia et al, 1971)	
2.24	50
ความสัมพันธ์ระหว่าง Initial Shear Stress กับ Overconsolidation Ratio (จาก D' Appolonia et al, 1971)	
2.25	53
การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Asaoka (1978).....	
2.26	55
วิธี Hyperbolic Fitting.....	
2.27	57
อัตราการทรุดตัวเนื่องจาก Consolidation สำหรับ Vertical Drainage เมื่อเงื่อนไขตามกฎทุกทิมส์ (DM-7).....	
2.28	57
แสดง T_{2D} กับ \bar{U} สำหรับ Plane Strain Consolidation โดยมี Double Drainage และ Isotropic Permeability (Lacasse et al, 1975).....	

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.29	แสดง Alpha factor กับ Permeability Ratio สำหรับ Plane Strain Consolidation ที่ $\bar{U} = 10\%-85\%$ (Lacasse et al, 1975).....	58
2.30	แสดง Rate of Triaxial Consolidation ที่สภาพการระบายน้ำ ต่าง ๆ กัน (Davis & Poulos, 1963).....	60
3.1	สถานที่ที่ทำการศึกษา.....	62
3.2	แสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ทำการศึกษา และตำแหน่งของ เครื่องมือทางเทคนิคธรณีที่ กม.47.....	63
3.3	แสดงรูปหน้าตัด และตำแหน่งที่ติดตั้ง Piezometer ที่ กม.47.....	64
3.4	แสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ทำการศึกษา และตำแหน่งของ เครื่องมือทางเทคนิคธรณี ที่ กม.52.....	65
3.5	แสดงรูปหน้าตัด และตำแหน่งที่ติดตั้ง Piezometer ที่ กม.52.....	66
3.6	รายละเอียดเครื่องทดสอบ Triaxial.....	77
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์กับน้ำหนักแขวน.....	82
3.8	เครื่องมือสำหรับการทดสอบ Stress Path.....	86
4.1	แสดง Boring Log และสมบัติของดินจากการทดลองที่ กม.47.....	90
4.2	ค่า C_v จากการทดสอบ Consolidation ที่ กม.47.....	94
4.3	การตรวจสอบคุณภาพของดินตัวอย่างและผลการทดลอง.....	95
4.4	แสดง Boring Log และสมบัติของดินจากการทดลองที่ BV # 6....	97
4.5	ค่า C_v จากการทดสอบ Consolidation ที่ BV # 6	100
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_{vc}}$ กับ Vertical Strain.....	104
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง A-Parameter กับ Vertical Strain.....	104

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	Normalized Stress Path และ Normalized Effective Stress Envelope จากการทดสอบ $\overline{CK}_O UC$	105
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง A_f กับ OCR.....	107
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง $S_u/\bar{\sigma}_{vc}$ กับ OCR	108
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_u/\bar{\sigma}_{vc}$ กับ OCR.....	109
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง E_u/S_u (Vane) กับ OCR.....	109
4.13	Stress Path ของดินตัวอย่างที่ BV # 6.....	110
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain กับเวลาในการเกิด Undrained Creep.....	117
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่าง Excess Pore Pressure กับเวลาในการเกิด Undrained Creep.....	118
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่าง μ -Parameter กับ OCR.....	119
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่าง A-Parameter กับ OCR.....	119
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric และ Axial Strain กับเวลา	121
4.19	ค่า Drained Modulus ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ที่ BV # 6.....	128
4.20	ความดันน้ำใต้ดินจาก Dummy Piezometer ที่ กม.47.....	129
4.21	ความดันน้ำใต้ดินจาก Dummy Piezometer ที่ BV # 6.....	130
4.22	ข้อมูล Excess Pore Pressure ที่ กม.47.....	131
4.23	ข้อมูล Excess Pore Pressure ที่ BV # 6.....	132
4.24	ค่าความดันน้ำโพรงแข็งที่ได้จากการคาดคะเนกับความลึกที่ กม.47...	137
4.25	ค่าความดันน้ำโพรงแข็งที่ได้จากการคาดคะเนกับความลึกที่ BV # 6..	138
4.26	แสดงค่า S_u (Vane)/ $\bar{\sigma}_{vc}$ และ OCR ของดินถนนเก่าที่ กม.47 กับ ความลึก.....	141
4.27	ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่า ที่ กม.47.....	142

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	ข้อมูลการทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.47 และ กม.52 (N.D. Lea & TEC, 1981).....	145
4.29	การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.47 โดยวิธี Asaoka (1978).....	146
4.30	ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของเกาะกลาง- ถนนที่ กม.47.....	148
4.31	ข้อมูลการทรุดตัวที่วัดได้จาก Settlement Plate ที่เกาะกลางถนน กม.47.....	152
4.32	การวิเคราะห์การทรุดตัวของเกาะกลางถนนที่ กม.47 โดยวิธี Asaoka (1978).....	153
4.33	แสดงค่า S_u (Vane) / $\bar{\sigma}_{vc}$ และ OCR ของดินถนนเก่าที่ กม.52 กับความลึก.....	156
4.34	ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของ ถนนเก่าที่ กม.52.....	157
4.35	การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่าที่ กม.52 โดยวิธี Asaoka (1978).....	160
4.36	ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของ BV # 6..	162
4.37	ข้อมูลการทรุดตัวที่วัดได้จาก Settlement Plate ที่ BV # 6.....	165
4.38	การวิเคราะห์การทรุดตัวของ BV # 6 โดยวิธี Asaoka (1978)..	166
4.39	อัตราการทรุดตัวของเกาะกลางถนนที่ กม.47.....	172
4.40	อัตราการทรุดตัวของ BV # 6.....	173
4.41	อัตราการขจัดความดันน้ำโพรงแข็งของ Piezometer ที่เกาะ- กลางถนน กม.47.....	174
4.42	อัตราการขจัดความดันน้ำโพรงแข็งของ Piezometer ที่ BV # 6...	175



สัญลักษณ์

A, B	= พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงของ Skempton
A_f	= พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรง ณ จุดพิบัติ
a	= พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงของ Henkel
B	= ความกว้างที่น้อยที่สุดของพื้นที่น้ำหนักกระทำ
CR	= Compression Ratio
C_v	= สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation)
D	= Constrained Modulus
ESP	= Effective Stress Path
E_u	= Undrained Young Modulus
$E_u(50)$, $E_u(80)$	= Undrained Young Modulus ที่ 50% และ 80% ของ Stress Level ตามลำดับ
\bar{E}	= Drained Young Modulus
f	= Initial Shear Stress Ratio
H	= ความหนาของชั้นดิน (Compressible Layer)
H_d	= ระยะทางระบายน้ำ (Length of Drainage Path)
I_{st}	= Influence Factor
K_o	= สัมประสิทธิ์แรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุล (Coefficient of Earth Pressure at Rest)
LI	= ดัชนีความเหลว (Liquidity Index)
LL	= พิกัดเหลว (Liquid Limit)
m_v	= สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Coefficient of Volume Change)
N	= SPT-N Value
NC	= Normally Consolidated
OC	= Over Consolidated

สัญลักษณ์ (ต่อ)

OCR	=	Over Consolidation Ratio
p, \bar{p}	=	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$, $\frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3}{2}$
PI	=	ดัชนีพลาสติค (Plasticity Index)
q, \bar{q}	=	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, $\frac{\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3}{2}$
q_{ult}	=	Ultimate Bearing Capacity
RR	=	Recompression Ratio
SR	=	Settlement Ratio
S_u	=	กำลังรับแรงเฉือนของดินสภาพไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)
S_u (Vane)	=	กำลังรับแรงเฉือนของดินสภาพไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ
T_v	=	Time Factor จากทฤษฎีของ Terzaghi
T_{2D}	=	Time Factor จากทฤษฎีของ Lacasse
TSP	=	Total Stress Path
\bar{U}	=	Average Degree of Consolidation
u_o	=	Back Pressure
Δu	=	Excess Pore Pressure
w_n	=	ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
$\bar{\alpha}$	=	มุมลาดเชิงเส้นขอบเขตการหีบคืบของหน่วยแรงประสิทธิผลจาก $\bar{p}-\bar{q}$ ไคอะแกรม
μ	=	Pore Pressure Parameter
$\bar{\mu}$	=	Bjerrum's Correction Factor
$\bar{\nu}$	=	Poisson's Ratio
γ_t	=	หน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight)
σ_c	=	ความดันเซลล์ (Cell Pressure)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

σ_{ho}	=	หน่วยแรงรวมในแนวนอนตามธรรมชาติ
$\bar{\sigma}_{ho}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอนตามธรรมชาติ
$\bar{\sigma}_{vc}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง
$\bar{\sigma}_{vm}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure)
$\bar{\sigma}_{vo}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ
$\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\sigma_z$	=	การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมในแนวแกน x, y และ z
$\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \Delta\sigma_3$	=	การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมหลัก
ϵ_v	=	Volumetric Strain
ϵ_l	=	Axial Strain
ϵ_{lu}	=	Undrained Axial Strain
ϵ_{lD}	=	Drained Axial Strain
ρ_c	=	การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำขั้นแรก (Consolidation Settlement)
ρ_i	=	การทรุดตัวทันที (Immediate Settlement)
ρ_s	=	การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำขั้นที่สอง (Secondary Compression)
ρ_u	=	การทรุดตัวเนื่องจาก Undrained Creep และ Shear Flow

ชนิดของการทดลอง

$\overline{CK}_o UC$	=	การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิคมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพไม่ระบายน้ำพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรง (K_o -Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement)
UU	=	การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)