

การวิเคราะห์การทรุดตัวและเสถียรภาพของคันทางที่ถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ

นายประเสริฐ บุญรักษา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

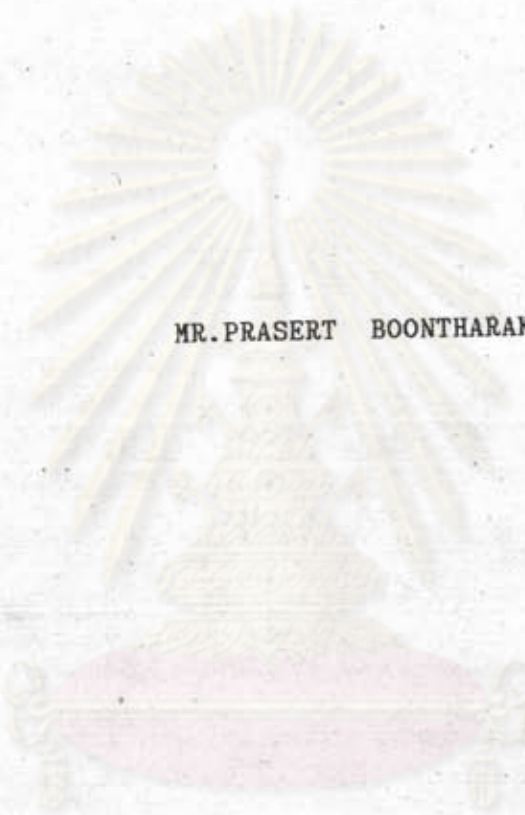
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-520-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018513 117181879

SETTLEMENT AND STABILITY ANALYSIS OF EMBANKMENT
AT KLONG DAN - BANG BOH HIGHWAY



MR. PRASERT BOONTHARAKSA

ศูนย์วิทยุวิทยุวิทยุวิทยุ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-520-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การทรุดตัวและเสถียรภาพของคันทางที่ถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ
โดย นายประเสริฐ บุญรักษา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

ผ. วิชา

.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชาภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

[Signature]ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพล จิวาลักษณ์)

[Signature]อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)

[Signature]อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ชอุทัย แต้ศิริ)

[Signature]กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอ่านวย)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประเสริฐ บุญรักษา : การวิเคราะห์การทรุดตัวและเสถียรภาพของคันทางที่ถนนสายคลองค่าน-บางบ่อ (SETTLEMENT AND STABILITY ANALYSIS OF EMBANKMENT AT KLONG DAN-BANG BOH HIGHWAY) อ.ที่ปรึกษา : ศศ.ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, 246 หน้า.
ISBN 974-581-520-9

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาการทรุดตัวและเสถียรภาพของคันทางบนถนนต่อเติมใหม่ที่ก่อสร้างบนดินเหนียวอ่อนมากสายคลองค่าน-บางบ่อ ซึ่งเชื่อมทางหลวงหมายเลข 3 (ถนนสุขุมวิท) และทางหลวงหมายเลข 34 (ถนนบางนา-ตราด ช่วง บางนา-บางปะกง) เข้าด้วยกัน

การทรุดตัวของถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ คือ กม. 7+000 โดยอาศัยข้อมูลจาก Section ที่เกิดการวิบัติ คือ กม. 6+750 และจากการทดลอง Stress Path โดยใช้เครื่องมือไตรแอกเซียลและวิธีปรุทีกลศาสตร์พื้นฐาน (D'Appolonia et al., 1971; Skempton & Bjerrum, 1957) เพื่อทำการทรุดตัวทั้งในสภาพไม่ระบายน้ำและการอัดตัวคายน้ำ สรุปได้ดังนี้

กม.	วิธี	การทรุดตัวทันที (ซม.)	การยุบอัดตัวครั้งแรก (ซม.)	การยุบอัดตัวครั้งที่สอง (ซม.)	รวม (ซม.)
7+000	-CONVENTIONAL	62.07	76.26	8.93	141.26
	-STRESS PATH	70.35	109.30	-	179.65
	-FIELD DATA	33.00	-	-	33.00

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางคันเสถียรภาพโดยใช้ค่าแรงเฉือนจาก Vane ซึ่งปรับแก้ค่าแล้ว ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ ได้แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนความปลอดภัยของถนนต่อเติมใหม่ในสภาพไม่ระบายน้ำมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (F.S. = 1.30) และมีค่าประมาณ 1.07 และ 1.00 สำหรับ กม.5+750 และ กม.6+750 ตามลำดับ การลดลงของน้ำในคลองชลประทานจึงทำให้เกิดการวิบัติได้ โดยเฉพาะเมื่อมีการจราจร ผลการวิเคราะห์ความปลอดภัยให้ค่าดังต่อไปนี้

กม.	วิธีการวิเคราะห์	F.S. (min)		หมายเหตุ
		ETS=0.0	ETS=0.5	
5+750	TSA, Bishop	1.07	1.00	น้ำสูงสุด (+0.90 MSL)
5+750	TSA, Bishop	1.01	0.99	น้ำต่ำสุด (-0.90 MSL)
5+750	TSA, Wedge	0.95	-	น้ำต่ำสุด (-0.90 MSL)
6+750	TSA, Bishop	1.00	0.93	น้ำสูงสุด (+0.90 MSL)
6+750	TSA, Bishop	0.95	0.92	น้ำต่ำสุด (-0.90 MSL)
6+750	TSA, Wedge	0.80	-	น้ำต่ำสุด (-0.90 MSL)

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิติ ประเสริฐ บุญรักษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ชยพร ทรัพย์

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C015236 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD : SETTLEMENT/STABILITY/EMBANKMENT

PRASERT BOONTHARAKSA : SETTLEMENT AND STABILITY ANALYSIS OF
EMBANKMENT AT KLONG ĐAN - BANG BOH HIGHWAY. THESIS ADVISOR :
ASST.PROF. SURACHAT SAMPHANDHARAKSA, SC.D. 246 PP. ISBN 974-581-520-9

This research presents the study of problems involving the settlement and stability of two road embankments built over the old embankment along Klongdan-Bangboh Highway. The study is km.5+750 and km.6+750 for stability and only at km.7+000 for settlement.

The settlement at center, before failure taken place, is estimated by conventional and stress path method. The results of the analysis are presented below.

KM.	METHOD	UNDRAINED SETTLEMENT	PRIMARY CONSOLIDATION	SECONDARY CONSOLIDATION	TOTAL (CM.)
7+000	-CONVENTIONAL	62.07	76.26	8.93	141.26
	-STRESS PATH	70.35	109.30	-	179.65
	-FIELD DATA	33.00	-	-	33.00

Result of stability analysis using corrected vane strength show that the factor of safety of new road in undrained condition is lower than those specified by the standard (F.S.= 1.30). The factor of safety is 1.07 and 1.00 for KM.5+750 and KM.6+750 respectively. The decline in the water level in the nearby klong and the traffic load, therefore, can initiate the failure. The analysis results are shown below.

KM.	METHOD OF ANALYSIS	F.S. (min)		REMARKS
		ETS=0.0	ETS=0.5	
5+750	TSA, Bishop	1.07	1.00	Max.Water Level (+0.90 MSL)
5+750	TSA, Bishop	1.01	0.99	Min.Water Level (-0.90 MSL)
5+750	TSA, Wedge	0.95	-	Min.Water Level (-0.90 MSL)
6+750	TSA, Bishop	1.00	0.93	Max.Water Level (+0.90 MSL)
6+750	TSA, Bishop	0.95	0.92	Min.Water Level (-0.90 MSL)
6+750	TSA, Wedge	0.80	-	Min.Water Level (-0.90 MSL)

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา..... 2534

ลายมือชื่อผู้จัดทำ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ธงอุทม์ ด้ด้ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนและแนะนำวิชาความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ รวมทั้งแนะนำแนวทางและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก กรมทางหลวง ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณสว่าง ศรีวรกุล ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์และวิจัย คุณสุพจน์ หวลถนอม หัวหน้างานวิจัยรากฐาน คุณชวลิต คุณยรัตน์ นายช่างผู้ควบคุมโครงการฯ ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือและเจ้าหน้าที่ในการวิจัยครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ดร.โมตรี ศรีนราวัดน์ ผู้อำนวยการโครงการก่อสร้างถนนในเขตปริมณฑลและหัวหน้าฝ่ายก่อสร้างโดยใช้แรงงานเป็นหลัก กรมโยธาธิการ ที่ได้ให้การสนับสนุนในการศึกษานี้

ขอขอบพระคุณ คุณปฐม เจริญวาเรศ และคุณชูชาติ เกียรติขจรกุล ที่ได้ให้ความสนับสนุนเครื่องมือและคำแนะนำในการทดลองโคจรแยกเข็ส

ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณของ บิดาและมารดา ครู และอาจารย์ ในอดีตและปัจจุบัน ที่ได้วางรากฐานและส่งเสริมให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ พี่ น้อง และ เพื่อน ๆ ทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปรัชญาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้กำลังใจและช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายประเสริฐ บุญรักษา

สารบัญ

บทที่		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
	กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
	สารบัญ.....	ช
	สารบัญตาราง.....	ฉ
	สารบัญรูป.....	ท
	อธิบายสัญลักษณ์.....	ธ
บทที่		
1.	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	13
1.3	ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4	ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	14
2.	ทฤษฎีและผลงานในอดีต.....	15
2.1	ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการทรุดตัวของชั้นดิน.....	15
2.2	การคาดคะเนการทรุดตัวของชั้นดินโดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์ พื้นฐาน	18
2.3	การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Stress Path.....	18
2.4	การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธี Modified Cam Clay Model	19
2.5	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ สภาวะสมดุล.....	21
2.6	การกระจายของหน่วยแรงในมวลดิน.....	24
2.7	แรงดันน้ำโพรงเพิ่ม.....	24

สารบัญ(ต่อ)

2.7.1	ปัญหาเสถียรภาพกับแรงดันน้ำโพรงเพิ่ม.....	26
2.7.2	การคาดคะเนค่าแรงดันน้ำโพรงเพิ่มโดยวิธีปฏิบัติ กลศาสตร์พื้นฐาน.....	32
2.8	คั่นดินถมที่มนุษย์สร้างขึ้น.....	32
2.8.1	องค์ประกอบการวิบัติของคั่นดินถม.....	32
2.8.2	ปัญหาเสถียรภาพในระยะสั้นหรือหลังการก่อสร้าง.....	35
2.8.3	ปัญหาเสถียรภาพในสภาพที่น้ำไหลออกจากดินได้ทันที ($\Delta u = 0$).....	38
2.8.4	ปัญหาเสถียรภาพเนื่องจากการลดลงของระดับน้ำ อย่างรวดเร็ว.....	38
2.9	ชนิดการเคลื่อนตัววิบัติของคั่นดินถม.....	39
2.10	สาเหตุการวิบัติของคั่นดินถม.....	40
2.11	กำลังรับแรงเฉือนของดิน.....	41
2.11.1	การทดลองในสนาม.....	41
2.11.1.1	Field Vane Shear Test.....	41
2.11.1.2	Dutch Cone Penetration Test.....	45
2.11.1.3	Standard Penetration Test..	49
2.11.2	การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	53
2.11.3	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคั่นดินถม..	54
2.11.4	การเลือกค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ เสถียรภาพแบบระบายน้ำ.....	66
2.11.5	การเลือกค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ เสถียรภาพแบบระบายน้ำบางส่วน.....	66
2.12	แนวความคิดพื้นฐานในการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	68
2.13	วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	70

สารบัญ(ต่อ)

2.13.1	วิธีการของ Fellenius	71
2.13.2	วิธีการของ Bishop.....	74
2.13.3	วิธีการ Wedge.....	75
3.	การทดลองและวิธีการวิจัย.....	77
3.1	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง.....	77
3.1.1	สถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง.....	77
3.1.2	วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	78
3.2	การทดสอบและการเก็บข้อมูลในสนาม.....	82
3.2.1	การทดสอบ Field Vane Shear.....	82
3.2.2	การทดสอบ Dutch Cone Penetration.....	85
3.2.3	การวัดแรงดันน้ำในโพรงดิน.....	87
3.2.4	การวัดการทรุดตัวของถนนในระหว่างการก่อสร้าง	87
3.3	การทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน.....	91
3.4	การทดลองการอัดตัวคายนํ้า 1 มิติ.....	91
3.5	การทดลองไตรแอกเซียล.....	92
3.5.1	การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับเครื่อง Triaxial.	92
3.5.2	การจัดเก็บตัวอย่างดินเข้าที่ทดสอบ.....	94
3.5.3	การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ.....	95
3.5.4	การอัดตัวคายนํ้า.....	96
3.5.5	การทดลองอันเดรนครีพ.....	101
3.5.6	การทดลองหากำลังแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายนํ้าด้วยเครื่องไตรแอกเซียลในสภาพไม่ระบายน้ำ (UUC).....	104

สารบัญ(ต่อ)

3.5.7	การทดลองหากล้างรับแรงกดของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่องไตรแอกเซียลในสภาพไม่ระบายน้ำ พร้อมทั้งวัดค่าแรงคั้นน้ำในโพรงดิน ($\overline{CKoU-TC}$).	104
4.	ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	106
4.1	ผลการทดลองในสนามและในห้องปฏิบัติการ.....	106
4.1.1	ผลการทดลอง Field Vane Shear.....	106
4.1.2	ผลการทดลอง Dutch Cone Penetration...	115
4.1.3	ผลการทดลองคุณสมบัติพื้นฐานของดิน.....	123
4.1.4	ผลการทดลองการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ.....	126
4.1.5	ผลการทดลอง Undrained Creep.....	131
4.1.6	ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test (UUC).....	140
4.1.7	ผลการทดสอบ Ko-Consolidated Undrained Triaxial Compression Test ($\overline{CKoU-TC}$).	144
4.2	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัว.....	150
4.2.1	วิธีปฐพีกลศาสตร์พื้นฐาน.....	153
4.2.2	วิธี Stress Path.....	156
4.2.3	การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ประมาณค่าโดยวิธีต่างๆ.....	156
4.3	ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	158
4.3.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ....	159
4.3.2	การวิเคราะห์เสถียรภาพของดินดินถม.....	161
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	181
5.1	การทรุดตัวของดินทาง.....	181
5.1.1	พารามิเตอร์ของดินเหนียวอ่อน.....	182

สารบัญ(ต่อ)

5.1.2	การทรุดตัวแบบไม่ระบายน้ำ.....	182
5.1.3	การทรุดตัวแบบอัดตัวคาน้ำ.....	182
5.1.4	การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวของถนนต่อเติมใหม่	182
5.1.5	การทรุดตัวครั้งที่สอง.....	182
5.2	เสถียรภาพของคันทาง.....	183
5.2.1	เสถียรภาพและอัตราส่วนความปลอดภัยของถนน สาย คลองค่าน-บางบ่อ	183
5.2.2	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ.....	183
5.3	ข้อเสนอนณะ.....	184
	เอกสารอ้างอิง.....	185
ภาคผนวก ก	- รูปตัดตามขวางแสดงการวิบัติของคันทางระหว่าง กม.5+743- กม.5+870 และ กม.6+737.5-กม.6+850.....	191
ภาคผนวก ข	- ผลการทดลอง Field Vane Shear.....	198
	- ผลการทดลอง Dutch Cone Penetration.....	205
	- ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำระหว่าง FVT กับ CPT.....	209
	- ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือน จาก FVT เมื่อ ปี พ.ศ. 2518, 2519, 2530 และ 2534.....	213
	- ผลการทรุดตัวของถนนสายคลองค่าน-บางบ่อ ช่วง Preload..	214
ภาคผนวก ค	- ผลการทดลอง Consolidation.....	217
	ประวัติผู้เขียน.....	246

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สูตร Empirical สำหรับคำนวณหาค่า K_0	22
2.2 ค่า K_0 กับความลึกของดินเหนียวหนองงูเห่า (AIT).....	23
2.3 ความดันน้ำโพรงเพิ่มขึ้นเสถียรภาพสำหรับคันทางที่มีเนื้อดินร่วนปนทราย.....	27
2.4 การหาค่า Δu โดยวิธีปริภูมิศาสตร์พื้นฐาน.....	33
2.5 ค่า Empirical Cone Factor (N_k) สำหรับดินเหนียวบริเวณต่างๆ....	51
2.6 ปัญหาเสถียรภาพจำแนกตามสภาพการระบายน้ำ.....	67
2.7 แสดงจำนวนตัวไม่ทราบค่าและสมการสำหรับวิธี Force Equilibrium และ Moment Equilibrium.....	73
3.1 แสดงตำแหน่ง Boring และการทดสอบ Field Vane Shear, Dutch Cone Penetration.....	88
3.2 ค่า K_0 กับความลึกของดินเหนียวถนนสายคลองด่าน-บางบัว.....	100
3.3 แสดงปริมาณการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ.....	105
4.1 แสดงผลการทดลอง Field Vane Shear จำนวน 12 หลุม.....	107
4.2 แสดงผลการทดลอง Dutch Cone Penetration จำนวน 8 หลุม.....	116
4.3 สรุปผลการทดลองของดินเหนียวอ่อนจากหลุม DB-1.....	121
4.4 สรุปผลการทดลองของดินเหนียวอ่อนจากหลุม DB-2.....	122
4.5 แสดงผลการทดลองและการคาดคะเนการทรุดตัวจากการทดลองไตรแอกเซียล จำลองหน่วยแรงในสนามในสภาพไม่ระบายน้ำตัวอย่างดินจากหลุม DB-1....	132
4.6 แสดงผลการทดลองและการคาดคะเนการทรุดตัวจากการทดลองไตรแอกเซียล จำลองหน่วยแรงในสนามในสภาพระบายน้ำตัวอย่างดินจากหลุม DB-1.....	133
4.7 การคาดคะเนการทรุดตัวโดยวิธีปริภูมิศาสตร์พื้นฐาน.....	154

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 การคาดคะเนการขุดตัวครั้งที่สอง.....	155
4.9 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนต่อเติมใหม่ กม.6+750.	157
4.10 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ กม.5+750.....	176
4.11 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ กม.6+750.....	176
4.12 การคำนวณหาความสูงที่เหมาะสมของถนนสายคลองด่าน-บางบ่อ.....	178

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนที่สังเขปแสดงอาณาบริเวณพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ.....	2
1.2 แผนที่สังเขปถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ.....	4
1.3 แสดงข้อมูลการวิบัติของคันทางที่ กม.5+743-กม.5+870 และ กม.6+737.5-กม.6+850.....	6
1.4 แปลนพื้นผิวสภาพการวิบัติของถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ กม.5+743-กม.5+870.....	7
1.5 แปลนพื้นผิวสภาพการวิบัติของถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ กม.6+737.5-กม.6+850.....	8
1.6 รูปตัดตามขวางของถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ แสดงระนาบหลังการวิบัติ กม.5+750.....	9
1.7 รูปตัดตามขวางของถนนสาย คลองด่าน-บางบ่อ แสดงระนาบหลังการวิบัติ กม.6+750.....	10
1.8 แสดงระยะเวลาการถมคันทางในระหว่างการก่อสร้างกับค่าการทรุดตัวและ แรงดันน้ำส่วนเกิน กม.5+000.....	11
1.9 แสดงระยะเวลาการถมคันทางในระหว่างการก่อสร้างกับค่าการทรุดตัวและ แรงดันน้ำส่วนเกิน กม.7+000.....	12
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของความเครียดกับ Log ของเวลา.....	17
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดตามแนวแกนกับเวลา เมื่อเกิด Creep ของดินเหนียว Heney (Campanella และ Vaid,1974).....	17
2.3 แสดงหน่วยแรงภายในคันทางอธิบายการทรุดตัวโดยวิธี Modified Cam Clay Model.....	20
2.4 แสดงการหาค่า Stress Influence Factor (Poulos,1967).....	25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.5 การคำนวณหาเสถียรภาพในกรณีมีการไหลแบบ Steady Seepage (Hough, 1957).....	29
2.6 การคำนวณหาเสถียรภาพในกรณีมีการไหลแบบ Rapid Drawdown.....	30
2.7 การหาอัตราส่วนความปลอดภัยโดยวิธีของ Morgenstern, 1963.....	31
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Δu กับ $f(\Delta v)$, (Leroueil et al., 1978b)	34
2.9 คิวลค่า R_c และ R_f เนื่องจาก Progressive Failure สำหรับคันทาง ก่อสร้างบนดินอ่อน.....	37
2.10 การเคลื่อนตัววิบัติแบบต่างๆ.....	40
2.11 เสถียรภาพของคันทางระหว่างการก่อสร้างบนดินเหนียวอ่อนกับเวลา.....	42
2.12 Anisotropy กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ.....	44
2.13 Strain Rate กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ.....	44
2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Bjerrum's Correction Factor กับค่า Plasticity Index หลังจากแก้ค่า End Effect ในระบบ 3 มิติ (Azzous, 1983).....	46
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Correction Factor กับ Liquid Limit...	47
2.16 ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ และการหาประวัติของ หน่วยแรงจากค่า Plasticity Index.....	48
2.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Empirical Cone Factor (N_c) กับ Plasticity Index (PI%) สำหรับ Mechanical Cone (Baligh et al., 1980)...	50
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive Strength (q_u) กับค่า Standard Penetration (N-Value), (NAVFAC DM-7, 1982)...	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 แสดงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นสำหรับการวิบัติของปัญหาเสถียรภาพในการฝึรอยผิวการวิบัติเป็นรูปลิ้มหรือส่วนโค้ง (Ladd and Koutsoftas, 1985, Ladd and Foott, 1974).....	55
2.20 แสดงสภาพหน่วยแรงระหว่างการก่อสร้างคันทางบนดินเหนียวอ่อนในสภาพ Preload.....	56
2.21 แสดงการ Consolidation สำหรับการทดสอบ $\overline{CKoU-TC}$ โดยวิธีต่างๆ...	59
2.22 แสดงพารามิเตอร์จากการทดสอบ Triaxial โดยวิธีจำลองหน่วยแรงในสนาม.....	62
2.23 แสดงผลการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ.....	63
2.24 Normalized Stress-Strain โดย Illustrating Progressive Failure โดยใช้ Strain Compatibility Technique (After Koutsoftas and Ladd, 1985).....	64
2.25 เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดลองในสนามกับในห้องปฏิบัติการ.....	65
2.26 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพซึ่งเสนอโดยบุคคลต่างๆ.....	69
2.27 การแบ่งมวลดินและแรงที่กระทำต่อ Slices เพื่อทำการวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัยของคันดินถม.....	72
2.28 ระบบแรงที่กระทำต่อ Slice สำหรับวิธีการของ Fellenius.....	73
2.29 ระบบแรงที่กระทำต่อ Slice สำหรับวิธีการของ Bishop's Simplified Method.....	76
2.30 การแบ่ง Wedge ของวิธี Wedge Method และแรงกระทำต่อ Wedge.....	76
3.1 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ การทดสอบ Field Vane Shear และ Dutch Cone Penetration กม.5+743-กม.5+870.....	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ การทดสอบ Field Vane Shear และ Dutch Cone Penetration กม.6+737-กม.6+850.....	80
3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงระบบของหน่วยแรงเนื่องจากการก่อสร้างถนนเก่า (2518 B.E.) และการปรับปรุงถนนใหม่ (2532 B.E.).....	81
3.4 แสดงเครื่องมือและการทดสอบ Field Vane Shear.....	83
3.5 แสดงมิติของหัว Cone แบบ Friction-Sleeve-Cone.....	86
3.6 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Piezometer ที่ Section กม.5+000 และ กม.7+000.....	89
3.7 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Settlement Plate ที่ Section กม.5+000 และ กม.7+000	90
3.8 แสดงแผนภูมิชุดเครื่องมือทดสอบกำลังเฉือนแบบรับแรงอัดสามทิศทาง.....	93
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์และน้ำหนักแขวน.....	99
3.10 แสดงเครื่องมือไครแอนกเชื่อมใช้ในการทดสอบ Undrained Creep.....	102
3.11 (ก) แสดง Stress Path กรณีที่ดินไม่เกิดการวิบัติ (ข) แสดง Stress Path กรณีที่ดินเกิดการวิบัติ.....	103
4.1 แสดงกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจาก Uncorrected FVT แนว Center Line ตลอดความยาวสายทาง.....	108
4.2 เปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ FVT ก่อนการ Preload และภายหลังการ Preload.....	109
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Su_{FV}/6'vo$ กับ Log OCR จากหลุม DB-1,2..	111
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\mu Su_{FV}/6'vo$ กับ Log OCR จากหลุม DB-1,2.	112
4.5 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ FVT กับความลึก โดยการวิเคราะห์ทางสถิติของดินเหนียวอ่อนบางบ่อ.....	113

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของการทดสอบ FVT ที่จำนวนรอบการหมุนรอบแกนเท่ากับ 10,25,50,100 และ 150 รอบ.....	114
4.7 แสดงความสัมพันธ์ของ Cone Resistance จากการทดสอบ CPT กับความลึก โดยการวิเคราะห์ทางสถิติของดินเหนียวอ่อนบางบ่อ.....	118
4.8 แสดงความสัมพันธ์ของ $0.7 * Su_{FV}$ และ $qc/31$ กับ ความลึก โดยการวิเคราะห์ทางสถิติของดินเหนียวอ่อนบางบ่อ.....	119
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $0.7 * Su_{FV}$ กับ $qc/31$ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติของดินเหนียวอ่อนบางบ่อ.....	120
4.10 แสดง Boring Log ของดินจากหลุม DB-1.....	124
4.11 แสดง Boring Log ของดินจากหลุม DB-2.....	125
4.12 แสดงการตรวจสอบคุณภาพของดินจากการทดสอบ Consolidation จากค่า $6/p$ กับ PI	127
4.13 แสดงการตรวจสอบคุณภาพของดินจากการทดสอบ Consolidation จากค่า m_v กับ $พ.ก.$	128
4.14 แสดงประวัติของหน่วยแรงของดินจากหลุม DB-1.....	129
4.15 แสดงประวัติของหน่วยแรงของดินจากหลุม DB-2.....	130
4.16 (ก) ผลการทดลอง Undrined Creep ที่ระดับความลึก -3.00 เมตร....	134
4.16 (ข) ผลการทดลอง Undrined Creep ที่ระดับความลึก -4.50 เมตร....	135
4.16 (ค) ผลการทดลอง Undrined Creep ที่ระดับความลึก -10.50 เมตร...	136
4.16 (ง) ผลการทดลอง Undrined Creep ที่ระดับความลึก -12.00 เมตร...	137
4.16 (จ) ผลการทดลอง Undrined Creep ที่ระดับความลึก -19.50 เมตร...	138
4.16 (ฉ) ผลการทดลอง Undrined Creep ที่ระดับความลึก -22.50 เมตร...	139
4.17 หน่วยแรงเฉือนเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนจาก Field Vane Shear ที่บริเวณ กม.6+750 ถนนสายคลองด่าน-บางบ่อ.....	141

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 แสดงผลการทดสอบ UUC จากตัวอย่างดินหลุม DB-1.....	142
4.19 แสดงผลการทดสอบ UUC จากตัวอย่างดินหลุม DB-2.....	143
4.20 เปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ปรับแก้ค่าแล้วระหว่าง UUC, FVT และ CPT กับความลึก จากดินหลุม DB-1 และ DB-2.....	145
4.21 แสดงผลการทดลอง $\overline{CKoU-TC}$ ที่ OCR ต่างๆ โดยใช้ตัวอย่างดินจากหลุม DB-1.....	146
4.22 แสดงความสัมพันธ์ Normalized Undrained Shear Strength กับ ความเครียด โดยใช้ตัวอย่างดินจากหลุม DB-1.....	147
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ A กับค่า OCR จากการทดสอบ $\overline{CKoU-TC}$ จากหลุม DB-1.....	148
4.24 Normalized Effective Stress Envelope จากการทดสอบ $\overline{CKoU-TC}$	149
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Eu_{50}/6'vc$ กับค่า Log OCR จากหลุม DB-1.....	151
4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Su/6'vc$ กับ Log OCR จากหลุม DB-1,2....	152
4.27 (ก) แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.5+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop ก่อนการวิบัติ,ETS=0.0 ตัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.).....	164
4.27 (ข) แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.5+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop ก่อนการวิบัติ,ETS=0.5 ตัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.).....	165
4.27 (ค) แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.5+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop หลังการวิบัติ,ETS=0.0 ตัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ -0.90 เมตร (MSL.).....	166

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.27 (ง)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.5+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop หลังการวิบัติ,ETS=0.5 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ -0.90 เมตร (MSL.).....	167
4.27 (จ)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.5+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Wedge หลังการวิบัติ,ETS=0.0 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ -0.90 เมตร (MSL.).....	168
4.27 (ฉ)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.5+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop ก่อนการวิบัติ,ETS=0.0 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.), ค่า FVT ปี พ.ศ.2518.....	169
4.28 (ก)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop ก่อนการวิบัติ,ETS=0.0 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.).....	170
4.28 (ข)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop ก่อนการวิบัติ,ETS=0.5 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.).....	171
4.28 (ค)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop หลังการวิบัติ,ETS=0.0 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ -0.90 เมตร (MSL.).....	172
4.28 (ง)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Simplified Bishop หลังการวิบัติ,ETS=0.5 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ -0.90 เมตร (MSL.).....	173
4.28 (จ)	แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Wedge หลังการวิบัติ,ETS=0.0 ดัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ -0.90 เมตร (MSL.).....	174

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.28 (จ) แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ
โดยวิธี Simplified Bishop ก่อนการขุด,ETS=0.0 ตัน/ตารางเมตร
ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.), ค่า FVT ปี พ.ศ.2518..... 175

4.29 แสดงการแบ่งชั้นดินของ กม.6+750 และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธี
Simplified Bishop ระดับหลังคันทาง = 1.10 เมตร (MSL.),ETS=
0.0 ตัน/ตารางเมตร ระดับน้ำอยู่ที่ +0.90 เมตร (MSL.)..... 179

4.30 แสดงผลการวิเคราะห์เสถียรภาพกับความสูงของคันทาง (MSL.)ของถนน
สายคลองด่าน-บางบ่อ กม.6.750..... 180

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

A, B	=	Pore Pressure Parameter
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างภายหลังการอัดตัวคายน้ำ
A_e	=	พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำในโพรงดินที่จุดที่วัด
B	=	Average Width of Slide Mass
C	=	ความเชื่อมแน่นของดิน
CPT	=	Dutch Cone Penetration Test
CR	=	Compression Ratio
C_v	=	Coefficient of Permeability
D	=	Average Depth of Slide Mass
DB	=	Deep Boring
E_u	=	โมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ
E_{u50}	=	โมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ ที่ 50 % ของหน่วยแรงเฉือน
F	=	อัตราส่วนความปลอดภัย
FVT	=	Field Vane Shear Test
H	=	ความสูงของไพบีต
K	=	Earth Passive Coefficient
K_o	=	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ สภาวะสมดุล
K_h	=	สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในแนวราบ
K_v	=	สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในแนวตั้ง
L_o	=	ความสูงของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ
L1	=	น้ำหนักสำหรับกบดินตัวอย่างเพื่ออัดตัวคายน้ำ
MSL	=	Mean Sea Level
NCC	=	Normally Consolidated Clay
N_k	=	Empirical Cone Factor

สัญลักษณ์ (ต่อ)

N-Value	=	Standard Penetration Resistance
OCR	=	Overconsolidation Ratio
OC	=	Overconsolidated
PL	=	Plastic Limit
PSC	=	Plane-Strain Compression
PSE	=	Plane-Strain Extension
PI	=	ดัชนีพลาสติซิตี
R	=	Correlation Factor
RR	=	Recompression Ratio
S	=	กำลังรับแรงเฉือนของดิน
Su	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ
T	=	Torque
t_r	=	เวลาที่ใช้ในการวิบัติ
r_u	=	อัตราส่วนของแรงดันน้ำในโพรงดินต่อน้ำหนักของดิน
Vo	=	ปริมาตรของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ
e_{av}	=	Average of Void Ratio
Δu	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน
p, \bar{p}	=	$(\sigma_1 + \sigma_2) / 2$ และ $(\sigma'_1 + \sigma'_2) / 2$
q, \bar{q}	=	$(\sigma_1 - \sigma_2) / 2$ และ $(\sigma'_1 - \sigma'_2) / 2$
qc	=	Cone Resistance
qu	=	Unconfined Compressive Strength
LL	=	Liquid Limit
α	=	ความลาดชันของ Failure Envelope
ΔLc	=	ค่าการยุบตัวของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลง

สัญลักษณ์ (ต่อ)

ΔV_o	=	ปริมาตรของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลง
Δe	=	Change of Void Ratio
Δu	=	แรงดันน้ำในโพรงเพิ่ม
$\Delta \sigma'$	=	Change of Effective Stress
$\Delta \sigma_1$	=	การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงหลัก
σ_b	=	Back Pressure
σ_{1e}	=	หน่วยแรงตั้งหลักสุดท้าย
σ'_{ec}	=	Consolidation Stress on Failure Plane
σ'_{er}	=	Effective Stress on Failure Plane at Failure
σ_n	=	หน่วยแรงรวม
σ_v	=	หน่วยแรงที่กระทำในแนวตั้ง
σ_{vo}	=	หน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ
σ_u	=	หน่วยแรงที่กระทำในแนวราบขนานกับ Slope
μ	=	ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือน
ν	=	มุมระหว่างระนาบการพิบัติกับระนาบแนวราบธรรมชาติ
ϕ	=	มุมต้านทานหน่วยแรงเฉือน
γ	=	ความหนาแน่นของดิน
γ_T	=	หน่วยน้ำหนักของมวลดิน
γ_w	=	Unit Weight of Water
f_e	=	การทรุดตัวแบบทันทีทันใด
f_c	=	การยุบอัดตัวครั้งแรก
f_o	=	การยุบอัดตัวครั้งที่สอง
C	=	หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น
C_c	=	Shear Resistance Along Active Portion
C_d	=	Shear Resistance Along Passive Portion

สัญลักษณ์ (ต่อ)

C	=	Shear Resistance Along Horizontal Portion
U %	=	ค่าเฉลี่ยของการกระจายแรงดันน้ำในโพรงดิน
c	=	ระยะตัดแกนตั้ง
σ_{hc}	=	หน่วยแรงในแนวราบสำหรับอัดตัวคายน้ำ
σ_{ho}	=	หน่วยแรงในแนวราบจากการทับถมของน้ำหนัก
σ'_{vc}	=	หน่วยแรงประสิทธิภาพในแนวตั้งสำหรับการอัดตัวคายน้ำ
σ'_{vm}	=	หน่วยแรงสูงสุดในอดีต
σ'_p	=	หน่วยแรงสูงสุดในอดีต
σ'_{vo}	=	หน่วยแรงประสิทธิภาพในแนวตั้งเนื่องจากน้ำหนักดินทับถม
ϕ_r	=	Residual Friction Angle
2h	=	ความสูงของตัวอย่าง

ชนิดของการทดลอง

UUC	:	UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST
$\overline{CKoU-TC}$:	Ko-CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST
$\overline{CKoU-TE}$:	Ko-CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL EXTENSION TEST
DSS	:	DIRECT SIMPLE SHEAR TEST