

การคาดคะเนการทรุดตัวของชั้นดินกรุงเทพมหานครเนื่องจากการก่อสร้างอุโมงค์



นางสาววรรณนิภา แซ่เตี๋ย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-826-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

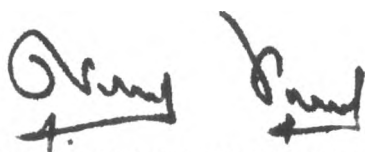
PREDICTION OF SETTLEMENT OF BANGKOK SOFT CLAY
DUE TO TUNNEL EXCAVATION

MS. WANNIPA TIEW

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคาดคะเนการทรุดตัวของชั้นดินกรุงเทพมหานครเนื่องจากการก่อสร้าง
อุโมงค์
โดย นางสาววรรณิภา แซ่เตียว
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

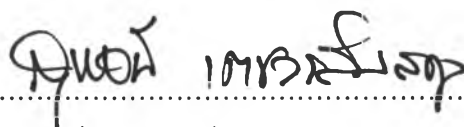


.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

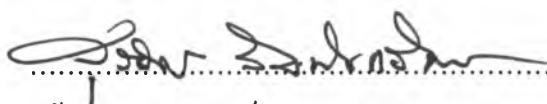
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



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



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)

วรรณนิภา แซ่เตี๋ย : การคาดคะเนการทรุดตัวของชั้นดินกรุงเทพมหานครเนื่องจากการก่อสร้างอุโมงค์
(PREDICTION OF SETTLEMENT OF BANGKOK SOFT CLAY DUE TO TUNNEL EXCAVATION) อ.
ที่ปรึกษา: ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล , 109หน้า, ISBN 974-331-826-7.

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินกรุงเทพฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทรุดตัวอันเป็นผล
เนื่องมาจากการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดใหญ่สำหรับรองรับระบบขนส่งมวลชน โดยในการศึกษาจะแบ่งขั้นตอนการศึกษาวิจัย
ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ 1) ศึกษาพฤติกรรมพื้นฐานของดินอ่อนกรุงเทพฯภายใต้ช่วงสภาวะการลดแรง และ 2) นำผลที่ได้
จากข้อ (1) มาประกอบและสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบง่าย ๆ เพื่อนำไปประกอบในการคำนวณประมาณค่า
การทรุดตัว โดยอาศัยวิธีการทาง Finite element analysis จากการทดสอบดินกรุงเทพฯ โดยการทดสอบภายใต้ Triaxial
Extension Test ทำให้สามารถหาข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงค่าของ Stiffness ของมวลดินภายใต้หน่วยแรงแบบต่างๆ ค่า
เปลี่ยนแปลง Stiffness นี้สามารถแสดงได้ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness กับ ค่าอัตราส่วนของหน่วยแรง (q/p) โดย
อาศัยความสัมพันธ์แบบ exponential โดยจากสมการที่นำเสนอ นั้นมีค่าตัวแปรเพียง 1 ค่าเท่านั้นที่จำเป็นต้องใช้เพื่อ
ประกอบแบบจำลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวได้ถูกนำไปประยุกต์เข้ากับโปรแกรม FEM เพื่อใช้ประมาณค่าการ
เคลื่อนตัวของชั้นดิน จากการคำนวณโดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าที่เคยมีการตรวจวัดกันในอดีตพบว่าแบบจำลอง
ดังกล่าวนี้ต้องการค่า Stress relaxation ประมาณ 9 % เพื่อที่จะสามารถประมาณค่าการเคลื่อนตัวของชั้นดินได้ใกล้เคียง
เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับสมการของ Peck แล้วพบว่าจะให้ค่าของ Volume loss ของพื้นผิวดินประมาณ 2 % จาก
ข้อมูลดังกล่าวได้ทำการประมาณการทรุดตัวของชั้นดินเดียวกัน โดยเพิ่มขนาดของอุโมงค์เป็น 6 เมตรพบว่าที่ค่า Stress
relaxation เดียวกัน (ประมาณ 9 %) ยังคงให้ค่าการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกับค่าการทรุดตัวที่ประมาณจากปริมาตร Volume loss
ประมาณ 2 %

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3971549621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: NORMALIZED STIFFNESS / STRESS RELAXATION

WANNIPA TIEW : PREDICTION OF SETTLEMENT OF BANGKOK SOFT CLAY DUE TO TUNNEL
EXCAVATION . THESIS ADVISOR : DR.SUPOT TEACHAVORASINSKUN , 109 pp. ISBN 974-331-826-7.

The main objective of the present study is to focus on settlement in Bangkok ground during tunnel excavation for public transportation. Two steps were conducted in this study. The first step studies the behavior of Bangkok soft ground under unloaded. The second step formulates non-linear elastic model relates to prediction of settlement based on the above result by using finite element analysis method. The result were obtained from the isotropically consolidated undrained triaxial extension tests of Bangkok soil and leaded to the exponential equation of the normalized stiffness; i.e., ratio of the tangent Young's modulus to its initial value, to the stress ratio (q/p); i.e., ratio of the deviator stress and the mean stress. The empirically one parameter required by the model was dependent on the initial confining stress. The model was implemented into the finite element analysis program 'CRISP' to estimate the ground movement. The proposed model using the stress relaxation of 9 % were well similar to the observed ones and to Peck's equation at the volume loss at 2%. Moreover, during the 6-meter diameter tunnel construction, it was found that the settlement was similar to the proposed model at the 9 % stress relaxation and to the Peck's equation at the 2% volume loss.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... Wannipa
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สุปอท เตชะวโรวาสินสกุน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้ทำการศึกษา ค้นคว้า สอบถามและขอคำปรึกษาจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งท่านเหล่านี้ได้ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้เขียนเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

กราบขอบพระคุณ ดร. สุพจน์ เดชวรสินสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง ผศ. ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ และ ผศ. ดร. สุรพล จิวาตเกษม ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้เขียนอย่างดีเลิศ ตลอดจนให้คำปรึกษาและช่วยเหลือไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา ครู อาจารย์ ที่ได้ส่งเสริมให้ผู้เขียนสำเร็จการศึกษามาถึงปัจจุบันนี้

วรรณิกา แซ่เตียว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีตที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วิธีการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะ.....	3
2.1.1 ประวัติการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะ	3
2.1.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของหัวเจาะ	3
2.2 อุโมงค์ในกรุงเทพฯที่ก่อสร้างมาแล้ว.....	4
2.3 การทรุดตัวของดินเนื่องจากการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะ.....	7
2.3.1 การคาดคะเนการทรุดตัวของผิวดินเหนืออุโมงค์.....	7
2.3.1.1 การประเมินหาค่า i	8
2.3.1.2 การประเมินหาค่า S_{max}	14
2.4 ลักษณะทั่วไปของชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ.....	17
2.5 พฤติกรรมของดินจากการทดสอบ.....	17
2.5.1 คำนียาม และแนวความคิดพื้นฐานของดิน.....	17
2.5.1.1 ความเค้น.....	17
2.5.1.2 ความเครียด.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1.3 ทฤษฎี Continuum.....	26
2.5.1.4 ชนิดของ Plasticity.....	27
2.5.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น กับความเครียด.....	27
2.5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบบยืด หยุ่น.....	27
2.5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบบ Hyperbolicของ KONDNER (1963).....	33
2.5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบบ elasto – plastic	33
2.5.3 ค่า Modulus of Elasticity (E).....	38
2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	39
2.6.1 แบบจำลอง Perfect plasticity.....	39
2.6.2 แนวความคิด critical state.....	43
2.6.3 แบบจำลองของ Cam – Clay.....	43
2.6.4 แบบจำลองของ Modified Cam – Clay.....	44
3. วิธีการวิจัยและการทดสอบ.....	46
3.1 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง.....	46
3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	46
3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน.....	46
3.2.2 การทดสอบ Triaxial	46
3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	47
3.2.2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน.....	47
3.2.2.3 การทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัว.....	47
3.2.2.4 การอัดตัวคายน้ำ.....	49
3.2.2.5 การดึงตัวอย่างดิน.....	49
3.2.3 การคำนวณผลการทดลอง.....	50
3.2.3.1 การคำนวณหน่วยแรง.....	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3.2	การคำนวณ mean normal stress และ deviator stress.....	50
3.2.3.3	การคำนวณ Young's Modulus (E).....	51
3.2.4	การปรับแก้การทดลอง.....	51
3.2.4.1	การปรับแก้พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน.....	51
3.2.4.2	การปรับแก้ผลจากกระดาษกรอง.....	51
3.2.4.3	การปรับแก้ผลจาก Membrane.....	52
4.	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	53
4.1	ผลการทดลอง.....	53
4.1.1	คุณสมบัติทั่วไป.....	53
4.1.2	ผลการทดสอบ Triaxial Extension	61
4.2	การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	64
5.	โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และผลวิเคราะห์.....	76
5.1	โปรแกรม CRISP 90.....	76
5.2	การผนวกแบบจำลองที่สร้างลงในโปรแกรม	76
5.3	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ.....	77
5.4	การคาดคะเนการทรุดตัวของพื้นแผ่นดิน.....	79
5.4.1	ค่าการทรุดตัวของพื้นผิวแผ่นดิน โดยวิธี Empirical.....	79
5.4.2	ค่าการทรุดตัวของพื้นแผ่นดิน โดยวิธี Numerical.....	81
5.5	พฤติกรรมของดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์.....	82
6.	สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....	93
6.1	สรุปผลการวิเคราะห์.....	93
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	93
	รายการอ้างอิง.....	95
	ภาคผนวก ก.....	97
	ภาคผนวก ข.....	100
	ประวัติผู้วิจัย	109

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1	คุณสมบัติทั่วไปของชั้นดินกรุงเทพฯ ฯ (Oonchitikul)	18
3.1	แสดงค่า Effective Confining Pressure ของตัวอย่างดิน ที่ระดับความลึกต่างๆ.....	49
4.1	แสดงคุณสมบัติทั่วไปของดินที่ใช้ในการทดสอบ.....	53
4.2	แสดงค่าหน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ , ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล ในแนวตั้ง ตามธรรมชาติ และ ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่ดินเคย ได้รับตามธรรมชาติ.....	54
4.3	แสดงค่า λ, K และค่า e_u ที่ระดับความลึกต่างๆ.....	54
4.4	แสดงค่า Initial Young's Modulus.....	61
4.5	แสดงค่า m^* และ n^* ที่ได้จากการนำค่า Normalized Young's Modulus และค่า mean total stress ratio.....	68
4.6	แสดงค่า m^* และ n^* ที่ได้จากการนำค่า Normalized Young's Modulus และค่า mean effective stress ratio.....	68
5.1	แสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง Non-linear elastic ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	78
5.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง Modified Cam-clay ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	79

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปแสดงพื้นฐานการขุดเจาะอุโมงค์โคชวิธีหัวเจาะ.....5
2.2	เครื่องขุดอุโมงค์ในกรุงเทพฯ ในปัจจุบัน.....6
2.3	การประมาณค่าการเคลื่อนตัวของมวลดิน.....9
2.4	คุณสมบัติของสมการการหาค่าการทรุดตัวของผิวดิน.....10
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของการทรุดตัว(i/R)กับความลึกของอุโมงค์ ($Z/2R$) สำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ในดินชนิดต่าง ๆ (PECK , 1969).....11
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของการทรุดตัว (i/a) กับความลึกของอุโมงค์ ($Z/2a$) ในดินเหนียว (Schmidt , 1969).....13
2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของการทรุดตัว (i/a) กับความลึกของอุโมงค์ ($Z/2a$) ในดินเม็ดหยาบ (Schmidt , 1969).....13
2.8	แสดงภาพตัดของการทรุดตัวของผิวดิน (O'REILLY และ NEW , 1982).....16
2.9(ก)	แสดงสภาวะของความเค้นในมวลดิน.....21
	(ข) แสดงความสัมพันธ์สภาพของหน่วยแรงในการทดสอบ Triaxial.....21
2.10	แสดงหน่วยแรงของ Mohr's circle.....23
2.11(ก)	แสดงตำแหน่งของ (p, q).....23
	(ข) แสดงแนวทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผล.....23
2.12(ก)	การประยุกต์แนวทางเดินของหน่วยแรงในการทดสอบแบบ Drained.....24
	(ข) การประยุกต์แนวทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดสอบแบบ Undrained.....24
2.13	แสดงถึงความสัมพันธ์ของวัสดุแบบ elastic.....28
2.14	แสดงถึงความสัมพันธ์ของวัสดุแบบ Perfectly plastic.....28
2.15	แสดงถึงความสัมพันธ์ของวัสดุแบบ Elasto – plastic.....29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเค้นกับความเครียดสำหรับ Normally consolidated Clay ในการทดสอบ Triaxial แบบ Undrained.....32
2.17	แสดงหลักการพื้นฐานของ work - hardening.....35
2.18	วัสดุมีพฤติกรรมแบบ Isotropic hardening.....37
2.19	วัสดุมีพฤติกรรมแบบ Kinematic hardening.....37
2.20	Mohr Coulomb criterion.....40
2.21	Drucker-Prager criterion.....40
2.22	Tresca criterion.....42
2.23	Von Mises criterion.....42
2.24	Cam-Clay yield locus และ Modified Cam-Clay yield locus.....45
2.25	Isotropic consolidation and swelling behavior.....45
3.1	เครื่องมือ Triaxial ในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์.....48
3.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะยืดของ Membrane.....52
4.1	ผลการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคชได้รับตามธรรมชาติที่ระดับความลึก 4 เมตร จากการทดสอบ one-dimensional oedometer...55
4.2	ผลการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคชได้รับตามธรรมชาติที่ระดับความลึก 8 เมตร จากการทดสอบ one-dimensional oedometer...56
4.3	ผลการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคชได้รับตามธรรมชาติที่ระดับความลึก 12 เมตร จากการทดสอบ one-dimensional oedometer...57
4.4	กราฟแสดงการหาค่า λ และ K จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 4 เมตร.....58
4.5	กราฟแสดงการหาค่า λ และ K จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 8 เมตร.....59
4.6	กราฟแสดงการหาค่า λ และ K จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 12 เมตร.....60
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Deviator Stress กับค่า % Axial Strain.....62
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า q^*/p กับค่า % Axial Strain.....63
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า q^*/p^* กับค่า % Axial Strain.....65

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess pore pressure กับค่า % Axial Strain..66	66
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized Excess pore pressure กับค่า % Axial Strain.....67	67
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized Young's Modulus กับค่า mean total stress ratio.....69	69
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized Young's Modulus กับค่า mean effective stress ratio.....70	70
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Parameter (n^*) กับค่า initial confining stress (mean total stress).....71	71
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Parameter (n^*) กับค่า initial confining stress (mean effective stress).....72	72
4.16	กราฟแสดง total stress paths ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Deviator Stress (q^*) กับค่า mean total stress(p).....73	73
4.17	กราฟแสดง effective stress paths ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Deviator Stress (q^*) กับค่า mean effective stress(p^*).....74	74
4.18	กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress กับค่า % Axial Strain จากการทดสอบ Unconfined compression.....75	75
5.1	การเคลื่อนตัวของมวลดินจากวิธี Empirical ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำ G-BC-B5..83	83
5.2	การเคลื่อนตัวของมวลดินจากวิธี Empirical ของโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน บริเวณถนนพระราม 4 (BH-10+890).....84	84
5.3	แสดง Mesh ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำ G - BC - B5.....85	85
5.4	แสดง Mesh ของโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินบริเวณถนนพระราม 4 (BH-10+890).....86	86
5.5	การเคลื่อนตัวของมวลดินจากการคำนวณด้วยแบบจำลองชนิดต่างๆของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำ G - BC - B5.....87	87

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.6	การทรุดตัวในแนวดิ่งที่ระยะความลึกต่างๆของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำG-BC-B5...88	
5.7	การเคลื่อนตัวของมวลดินตามแนวราบของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำ G - BC - B5ที่ระยะห่างจากศูนย์กลาง 3 เมตร.....89	
5.8	การเคลื่อนตัวของมวลดินจากการคำนวณด้วยแบบจำลองชนิดต่างๆของโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....90	
5.9	การทรุดตัวในแนวดิ่งที่ระยะความลึกต่างๆของโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน....91	
5.10	การเคลื่อนตัวของมวลดินตามแนวราบของโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ระยะห่างจากศูนย์กลาง 6 เมตร.....92	

สัญลักษณ์

A_c	=	พื้นที่หน้าตัดที่ปรับแก้แล้ว
a	=	รัศมีของอุโมงค์
B	=	ค่าพารามิเตอร์ของความดันน้ำของ Skempton
C	=	cohesion
E	=	Young's modulus
E_i	=	Initial tangent Young's modulus
E_{ini}	=	Initial Young's modulus indicated at 0.01 % Strain level
E_{ref}	=	Initial Young's modulus ที่ค่า Initial mean stress ที่อ้างอิง
E_{tan}	=	Tangent Young's modulus
e	=	Void ratio
e_{cs}	=	ค่าอัตราส่วนช่องว่างบน critical state line
e_0	=	Initial voids ratio
F_{fp}	=	แรงที่เกิดจากผลของกระดาศกรอง
G_s	=	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
I_1	=	Invariance ของ Stress tensor (ผลรวมของ normal stress)
i	=	ตำแหน่งที่ชันที่สุดของค่าการทรุดตัวของเส้นการ โกงของผิวดิน
J_2	=	Invariance ของ Deviatoric Stress tensor
K	=	ค่า modular number
K_0	=	Lateral stress ratio for zero lateral strain
K_{fp}	=	แรงต่อความยาวเส้นรอบรูปของกระดาศกรอง
k	=	Hardening Parameter
L	=	Length of a soil specimen
LL	=	ขีดเหลว (Liquid limit)
LI	=	Liquidity index
L_0	=	Initial length
ΔL	=	Change length
M	=	Stress ratio of critical state line for normally consolidated clay
m	=	Volume ratio (V_s/V_{EXE})

สัญลักษณ์(ต่อ)

m^*	=	parameter of proposed model ($m = 1$)
n^*	=	parameter of proposed model
OCR	=	Over – consolidation ratio
p	=	mean normal stress
p'	=	mean effective normal stress
p^*	=	mean normal stress
P_a	=	แรงดันอากาศที่อัด
P_z	=	แรงดันรวมในแนวตั้งที่ความลึก Z ณ. จุดศูนย์กลางอุโมงค์
PL	=	ขีดพลาสติก (Plastic limit)
PI	=	ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity index)
q, q^*	=	Deviator stress
R	=	รัศมีของอุโมงค์
S_{max}	=	Maximum Settlement (at $x= 0$)
S_u	=	Undrained shear strength
V_L	=	Volume of ground loss during excavation
V_s	=	Volume of settlement trough
V_0	=	Tunnel volume excavation
V_{exe}	=	Tunnel volume excavation
u	=	pore (water) pressure
Δu	=	excess pore (water) pressure
x	=	Transverse distance from tunnel center line
Z	=	tunnel center line depth
w	=	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (Initial water content)
γ_t	=	หน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight)
σ_1	=	Major Principle Stress
σ_2	=	Intermediate Principle Stress
σ_3	=	Minor Principle stress
σ_c	=	confining stress

สัญลักษณ์(ต่อ)

σ_v = vertical stress

ϵ = Axial strain

ν = Poison's ratio

E_{tan}/E_{ini} = Normalized Young's modulus

λ = Slope of isotropic consolidation line in (e, ln p*) plot

κ = Slope of isotropic swelling line in (e, ln p*) plot