

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินที่บรี เวณงานก่อสร้างท่าอากาศยาน

กรุงเทพมหานครที่สอง (หนองงูเห่า)



นาย สาธิต เต่าทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-566-013-2

009257

i 178950051

To Study Soil Improvement at the Site of 2nd Bangkok  
International Airport (Nong Ngoo Hao)

Mr. Sathit Taothong


A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Civil Engineering  
Graduate School

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินที่บริเวณงานก่อสร้างท่าอากาศยาน  
กรุงเทพแห่งที่สอง (หนองงูเห่า)  
โดย นาย สาธิต เค้าทอง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์



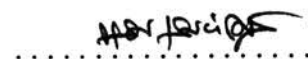
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุณนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวยการ)

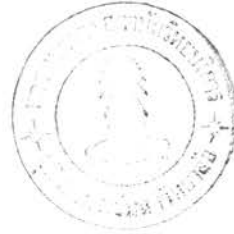
  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ประจิด จิรัปกรณ์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศทรรุ่งวงศ์)

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินที่บริเวณงานก่อสร้างท่าอากาศยานกรุงเทพมหานครแห่งที่สอง (หนองจุกท่า)  
ชื่อนิติกร                      นาย สาธิต เต่าทอง  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์  
ภาควิชา                        วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา                    2528

บทคัดย่อ



งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินที่บริเวณงานก่อสร้างท่าอากาศยานกรุงเทพมหานครแห่งที่สอง (หนองจุกท่า) โดยการใช้หน้าหนักบรรทุกก่อน (Preloading) พร้อมกับการเร่งการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวด้วยการใช้ท่อทรายระบายน้ำในแนวตั้ง (Vertical Sand Drains ) เนื่องจากสภาพดินบริเวณหนองจุกท่าเป็นดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay ) และดินเหนียวอ่อน (Soft Clay ) สิ่งก่อสร้างต่างๆที่วางบนพื้นดินโดยตรงโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดิน จะเกิดปัญหาการทรุดตัวหลังการก่อสร้าง (Post Construction Settlement ) เกิดการแตกร้าวหรือพังทลายขึ้นได้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของท่อทรายระบายน้ำและ เปรียบเทียบผลกับทฤษฎีการออกแบบ ศึกษาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงดินเหนียวที่ติดตั้งท่อทรายระบายน้ำในแปลงทดสอบต่างๆ แต่มีการใช้หน้าหนักบรรทุกในรูปแบบต่างๆกัน

หลังจากที่ได้ผลคุณสมบัติต่างๆของดินโดยละเอียด ทำการออกแบบและสร้างแปลงทดสอบขึ้น 3 แปลง แปลงทดสอบที่ 1 มีขนาด 40×40 เมตร ติดตั้งท่อทรายระบายน้ำแบบสามเหลี่ยม ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของท่อทราย 2.0×1.75 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 27 - 30 เซนติเมตร ลึก 15 เมตร ใช้วิธีให้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน (Dewatering )และความดันสูญญากาศ (Vacuum Pressure ) แปลงทดสอบที่ 2 ขนาด 40×42.6 เมตร จัดท่อ

ทรายระบายน้ำเหมือนแปลงทดสอบที่ 1 ใช้น้ำหนักบรรทุกทุกก่อนด้วยวิสดุม (surcharge) การถมทำเป็น 2 ชั้นตอน ชั้นที่หนึ่งถมสูง 2.85 เมตร (น้ำหนักบรรทุกตามแนวตั้ง =  $4.6 \text{ ตัน/ม.}^2$ ) ชั้นที่สองถมสูงรวม 4.00 เมตร (น้ำหนักบรรทุกตามแนวตั้ง =  $6.6 \text{ ตัน/ม.}^2$ ) แปลงทดสอบที่ 3 ขนาด  $40 \times 40$  เมตร จัดท่อทรายระบายน้ำแบบสามเหลี่ยม ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของท่อทราย  $2.4 \times 2.1$  เมตร ใช้น้ำหนักบรรทุกทุกก่อนด้วยวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน วิธีเจาะทำท่อทรายระบายน้ำใช้การเจาะไม่แทนที่ดินแบบวิธีล้างหลุมเจาะ (washboring) ด้วยน้ำมีความดันสูง ก่อนการติดตั้งท่อทรายระบายน้ำทำพื้นทรายเพื่อให้เครื่องจักรสามารถเข้าทำงานได้ ในแปลงทดสอบแต่ละแปลงติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆสำหรับวัดผล เพื่อนำมาหาพฤติกรรมการปรับปรุงดินและการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ เป็นการนำผลที่วัดได้จากการทดสอบในแต่ละแปลงทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการประมาณการจากทฤษฎีการออกแบบ ปริมาณการทรุดตัวเนื่องจากการยุบอัดตัวที่ประมาณการ ใช้ทฤษฎีการทรุดตัวเนื่องจากการยุบอัดตัวแบบ 1 มิติของเทอร์ซาคี (Terzaghi) การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวใช้ทฤษฎีท่อทรายระบายน้ำของ Barron คัดการทรุดตัวเป็นแบบ " Equal Vertical Strain "

พฤติกรรมการปรับปรุงดินที่เกิดขึ้นในแต่ละแปลงทดสอบ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎีการออกแบบ สามารถสรุปได้ดังนี้

1.) แปลงทดสอบที่ 1 - จากผลของการทดสอบที่วัดได้พบว่า เกิดการทรุดตัวตามขวาง (profile) ในลักษณะโค้ง (arch) มีการทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางแปลงทดสอบมากกว่าที่บริเวณขอบแปลงทดสอบ ชั้นดินมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างเข้าไปในพื้นที่แปลงทดสอบตลอดระยะเวลาการทดสอบ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นมีอัตราเร็วกว่าการทรุดตัวที่คาดไว้จากทฤษฎีการออกแบบ อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันที่วัดได้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ (fluctuate) ตลอดเวลาการทรุดตัวที่เกิดขึ้นมิใช่การทรุดตัวเนื่องจากการยุบอัดตัว (consolidation) โดยพิจารณาได้จากเครื่องวัดอินคลิโนมิเตอร์

ถ้าดินเกิดการยุบอัดตัว ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้นตาม การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง จะต้อง เคลื่อนตัวข้างจนหยุดได้ในช่วงการทดสอบ การทรุดตัวที่วัดได้เกิดจากขั้นตอนการทำท่อทรายที่ใช้น้ำที่มีความดันสูง เจาะหลุม ขนาดของหลุมที่ได้ใหญ่กว่าที่คาดไว้ และ ลักษณะของหลุมไม่เป็นรูปท่อกลมยาวสม่ำเสมอตามต้องการ ทรายที่ดักใส่ลงไปมีปริมาตรเท่ากับที่ออกแบบไว้จึงไม่เต็มหลุมหลุม เจาะ เมื่อทำการทดสอบด้วยวิธีสูบน้ำ เพื่อลดระดับน้ำใต้ดินหรือวิธีความดันสูญญากาศจึงเกิดการทรุดตัวขึ้น เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในหลุม เจาะถูกสูบออกไป ทำให้หลุมเจาะถูกดินเคลื่อนตัวทางด้านข้าง เข้าแทนที่

2.) แปลงทดสอบที่ 2 - จากผลของการทดสอบที่วัดได้ พบว่าเกิดการทรุดตัวตามขวางในลักษณะโค้ง เช่นกัน แต่การทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางแปลงทดสอบ เกิดการทรุดตัวอย่างมาก ขณะที่ขอบของแปลงทดสอบ เกิดการทรุดตัวไม่มาก เมื่อ เปรียบเทียบกัน ในช่วงแรกของการทิ้งดินทรายไว้ ชั้นดินเกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง เข้าไปในพื้นที่แปลงทดสอบ แต่เมื่อมีการถมดินชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ชั้นดินมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างออกจากพื้นที่แปลงทดสอบ อย่างไรก็ตามจากสภาพหน้าหน้ากบรทุกชั้นที่ 1 และ 2 ความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้นสูงมาก เกิดสภาพการไหล (flow) ขึ้น การทรุดตัวที่เกิดขึ้นมีอัตราเร็วว่าการทรุดตัวที่คาดไว้จากทฤษฎีการออกแบบ อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันที่วัดได้ มีลักษณะ เปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆตลอดเวลา การทรุดตัวที่เกิดขึ้นไม่ใช่ขบวนการยุบอัดตัว แต่สาเหตุการทรุดตัวที่เกิดขึ้น เกิดได้จากสภาพหน้าหน้ากบรทุกที่ทำให้เกิดสภาพการไหลและการติดตั้งท่อทรายระบายน้ำ เช่นเดียวกับสาเหตุของแปลงทดสอบที่ 1

3.) แปลงทดสอบที่ 3 - จากผลของการทดสอบที่วัดได้ พบว่าเกิดการทรุดตัวตามขวางในลักษณะโค้ง เช่นกัน มีการทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางแปลงทดสอบมากกว่าที่บริเวณขอบแปลงทดสอบ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นมีอัตราเร็วว่าการทรุดตัวที่คาดไว้จากทฤษฎีการออกแบบ อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันที่วัดได้ มีลักษณะ เปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆตลอดเวลา การทรุดตัวที่เกิดขึ้นไม่ใช่ขบวนการยุบอัดตัว การทรุดตัวที่วัดได้มีสาเหตุจากขั้นตอนการทำท่อทรายในลักษณะเดียวกับแปลงทดสอบที่ 1

4.) จากการทดสอบทั้งสามแปลงดังกล่าว สรุปถึงผลจากการทดสอบที่ได้ไม่สัมพันธ์กับทฤษฎีการออกแบบ เนื่องมาจากวิธีการติดตั้งท่อทรายโดยใช้วิธีล้างหลุมเจาะ ( wash-boring ) ด้วยน้ำที่มีความดันสูง ทำให้ขนาดของหลุมเจาะสำหรับท่อทรายไม่ได้รูปแบบตามต้องการ

Thesis Title            To Study Soil Improvement at the Site of 2nd  
                                 Bangkok International Airport (Nong Ngoo Hao)

Name                      Mr. Sathit Taothong

Thesis Advisor         Assistant Professor Suraphol Chivalak , Ph.D.

Department             Civil Engineering

Academic Year         1985

#### Abstract

The purpose of this research is to study soil improvement at the site of 2nd Bangkok International Airport (Nong Ngoo Hao) by preloading with vertical sand drains for acceleration rate of consolidation settlement. Soil conditions at Nong Ngoo Hao are very soft clay and soft clay. Any construction that lies on this soil directly without soil improvement will face the post construction settlement problem. It may be cracked or failed. This research has the purpose to study behaviour of vertical sand drains and compare the results with design theory. To compare the results from soil improvement by vertical sand drains in each test sections with using many types of loading for preloading.

After the details of soil properties are resulted. Three soil improvement test sections were designed and constructed. Test section I occupied an area of 40 m. by 40 m. Sand drains were installed in triangular pattern at 2.0 × 1.75 m. centres. Each sand drain had a nominal diameter of 27 - 30 cm. and was

installed to the depth of 15 m. It was preloaded by dewatering and vacuum pressure. Test section II occupied an area of 40 m. by 42.6 m. Sand drains was installed the same as Test section I. It was preloaded by surcharge. The embankment was designed to build in two stages. The first stage was to create a vertical pressure of 4.6 tons per sq.m. which corresponds to an embankment height of 2.85 m. The second stage was to create a total vertical pressure of 6.6 tons per sq.m. which corresponds to an total embankment height of 4.00 m. Test section III occupied an area of 40 m. by 40 m. Sand drains was installed in triangular pattern at 2.4 x 2.1 m. centres. It was preloaded by dewatering. Sand drains installation method used is non-displacement type. Drill the hole by washboring with jetting high water pressure. Before installed sand drains placed sand blanket to provide a firm support for the sand drain installation rig. In each test section was instrumented. The measurement from instruments was used to study behaviour of soil improvement and to evaluate the results.

The measurements in each test sections were evaluated to compare with the design theory prediction. Consolidation settlements were predicted by the theory of one-dimensional consolidation settlement by Terzaghi. Rate of consolidation settlements were predicted by Theory of sand drain by BARRON. Assume settlement is " Equal Vertical Strain"

The behaviour of soil improvement in each test section and



the evaluation to compare with design theory can be summarized as follows :

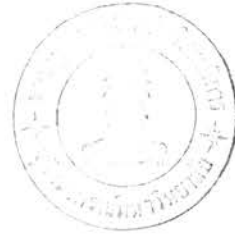
1. Test Section I - From test observations, settlement profile had arch pattern. At the center line of the test section, settlement is greater than at the edge. Lateral movement of soil stratum moved towards test sections during testing time. Rate of observed settlement was faster than the prediction of design theory and rates of observed settlement per day were fluctuated during testing time. Observed settlement is not consolidation settlement. From Inclinator, if soil is consolidated, shear strength will be increased. Lateral movement should move by the rate to slow down until it stops during testing time. Observed settlements were caused by sand drain installation with jetting by high water pressure. The size of each hole was bigger than design and the shape was not regular as design. The hole was not filled by the design of sand volume. When testing by pumping for dewatering or vacuum pressure, water in the holes was pumped out. Settlement was observed. The hole was displaced by lateral soil movement.

2. Test Section II - From test observations, settlement profile had arch pattern. At the centerline of the test section, settlement was observed considerably compare with at the edge. During sand blankets, Lateral movement of soil stratum moved towards test section during testing time. But during 1st and 2nd stage loading, lateral movement moved outwards test section. However during these periods, pore water pressure was increased until soil

had flow condition. Rate of observed settlement was faster than prediction. Observed settlement is not consolidation settlement. But observed settlement was caused by undrained loading condition until soil had flow condition and sand drain installation as in Test Section I

3. Test Section III - From test observations, settlement profile had arch pattern. At the center line of the test section, settlement is greater than at the edge. Rate of observed settlement per day were fluctuated. Observed settlement is not consolidation settlement. Observed settlement was caused by the same reason in Test Section I.

4. From observed the three test sections, the results from testing did not relate with design theory. Because sand drain installation by wash boring with high water pressure produces the size of borehole larger than design.



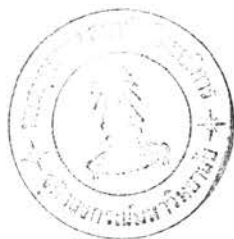
## กิติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบ แกไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงษ์ ที่ได้แนะนำสำหรับการเตรียมการ เสนอวิทยานิพนธ์และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบ แกไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ เป็นรูปเล่ม

ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ทั้งทางด้านคุณสมบัติต่างๆของดินบริ เวณหนองงูเห่า และผลการทดสอบที่บันทึกได้จากการทดสอบภาคสนาม ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรรมการบัณฑิตยษ์ กระทรวงคมนาคม ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความช่วยเหลือของคุณ ปทุมทิพย์ เพิ่มศักดิ์มีทรัพย์ คุณ ลักขณา พรจินดา และคุณ สมบูรณ์ เต่าทอง ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายที่สุด ผู้เขียนปรารถนาที่จะขอแสดงความรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาตลอด พร้อมทั้ง พี่ๆน้องๆ และเพื่อนๆ จนสำเร็จการศึกษาในระดับนี้

สาธิต เต่าทอง



บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ฉ
รายการตารางประกอบ.....	ค
รายการรูปประกอบ.....	ด
สัญลักษณ์.....	พ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ.....	1
1.1 บทนำเรื่องทั่วไป.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.5 ความสำคัญ หรือ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้.....	5
2. ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต.....	6
2.1 งานในอดีตเกี่ยวกับการปรับปรุงชั้นดินอ่อน โดยใช้ท่อ ทรายระบายน้ำในแนวตั้ง.....	6
2.1.1 ทั่วไป.....	6
2.1.2 ทฤษฎีท่อทรายระบายน้ำ (Theory of Sand drain).....	8
2.1.3 วิธีใช้น้ำหนักบรรทุกก่อน (Pre-loading Method).....	19
2.1.4 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อทฤษฎีการระบายน้ำในแนว ตั้ง.....	21
2.2 การประมาณการทรุดตัวของดิน (Evaluation of Soil Settlement).....	24

บทที่	หน้า
	iii
2.2.1	24
2.2.2	28
3.	36
3.1	36
3.1.1	36
3.1.2	41
3.1.2.1	41
3.1.2.2	41
3.1.3	47
3.1.4	47
3.1.4.1	47
3.1.4.2	49
3.1.4.3	49
3.1.4.3.1	49
3.1.4.3.2	49

	โพรง (Oedometer Tests with Pore Pressure Measurement).....	50
	3.1.4.3.3 การทดสอบ Stress path.....	50
3.1.4.4	การทดสอบความซึมได้ (Permeability Test).....	50
3.1.4.5	การทดสอบหาค่า Ko (Ko Determination Test)....	52
3.1.4.6	การทดสอบหาคูสมบัติทางเคมี.....	52
3.2	วิธีการออกแบบแปลงทดสอบและการสร้างแปลงทดสอบ....	52
3.2.1	การออกแบบแปลงทดสอบ.....	52
3.2.1.1	แปลงทดสอบที่ 1- ใช้น้ำหนักบรรทุกก่อน ด้วยการลดระดับน้ำใต้ดินและความดันจาก สูญญากาศ.....	55
3.2.1.2	แปลงทดสอบที่ 2- ใช้น้ำหนักบรรทุกก่อน ด้วยวัสดุ.....	59
3.2.1.3	แปลงทดสอบที่ 3- ใช้น้ำหนักบรรทุกก่อน ด้วยการลดระดับน้ำใต้ดิน.....	61
3.2.1.4	พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area).....	61
3.2.2	การก่อสร้างแปลงทดสอบ (Construction of Test sections).....	61
3.2.2.1	การทำพื้นทราย (Placement of sand Blanket).....	64

3.2.2.2	การติดตั้งท่อทรายระบายน้ำและสายสูบลูญญากาศ (Installation of sand Drains and Vacuum Lines)...	64
3.2.2.3	การถมวัสดุใช้เป็นน้ำหนักรรทุกก่อนในแปลงทดสอบที่ 2.....	69
3.3	การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับบันทึกผลของแปลงทดสอบ.....	69
3.3.1	พิโซมิเตอร์ (Piezometer).....	75
3.3.2	แผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน (Surface Settlement Plates).....	76
3.3.3	เครื่องวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer).....	76
3.3.4	ระบบการวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ (Sondex Settlement System).....	79
3.3.5	มาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (Hydrostatic Profile gauges).....	79
3.4	ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพดินของแปลงทดสอบ (Performance of Soil Improvement Test sections).....	82
3.4.1	แปลงทดสอบที่ 1.....	82
3.4.1.1	การดำเนินการการสูบ (Pumping operation).....	82
3.4.1.2	การอุดรอยรั่วของผืนทราย (Sealing of Sand Blanket).....	83
3.4.1.3	การสูบน้ำแบบวัฏจักรโดยใช้ฟิลเตอร์บนและฟิลเตอร์ล่าง.....	84

บทที่

หน้า

3.4.2	แปลงทดสอบที่ 2 .....	86
3.4.2.1	การดำเนินการถมวัสดุ (Filling Operation).....	86
3.4.3	แปลงทดสอบที่ 3.....	86
3.4.3.1	การดำเนินการสูบ (Pumping Operation).....	86
3.4.4	พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area).....	87
4.	ผลของการทดสอบและวิจารณ์.....	88
4.1	ผลของการเจาะสำรวจชั้นดินและคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน..	88
4.1.1	ชั้นดินบริเวณหนองงูเห่า.....	88
4.1.2	คุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน.....	89
4.2	ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดตั้งในแต่ละแปลงทดสอบ.....	94
4.3	การเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ของทฤษฎีการออกแบบกับผลที่วัดได้จากแปลงทดสอบ.....	94
4.3.1	การประมาณการ ขนาดการทรุดตัวที่เกิดขึ้น.....	94
4.3.2	การคาดการณ์อัตราการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัว.....	100
4.3.3	การประเมินผลข้อมูลที่วัดได้จากการทดสอบและนำมาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ จากทฤษฎีการออกแบบ.....	113
5.	บทสรุปและแนะนำการวิจัยขั้นต่อไป.....	150
5.1	บทสรุป.....	150
5.2	ข้อเสนอแนะในการวิจัยขั้นต่อไป.....	152
	เอกสารอ้างอิง.....	153
ภาคผนวก ก.	วิธีการติดตั้งและการอ่านค่าเครื่องมือต่าง ๆ ที่ติดตั้ง.....	155
ภาคผนวก ข.	คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินบริเวณหนองงูเห่า.....	158



บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค. ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดตั้งในแต่ละแปลงทดสอบ.....	206
ประวัติผู้เขียน.....	245

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	ปัญหาในงานก่อสร้างบนชั้นดินอ่อน	7
2.2	ผลกระทบจากวิธีทำท่อทรายระบายน้ำ	25
3.1	ตำแหน่งและความลึกของ Piezometer ที่ใช้สังเกตความดันน้ำใต้ดิน	44
3.2	ตำแหน่งของ Observation Well	46
4.1	คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของดินเหนียวและทราย บริเวณหนองงูเห่า	90
4.2	คุณสมบัติของชั้นดินที่ใช้ในการประมาณการทรุดตัว	96
4.3	การกระจายความเค้นตามความลึก (Stress Distribution) จากน้ำหนักบรรทุกทุกชั้นดินของแปลงทดสอบ	98
4.4	การคำนวณปริมาณการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวของแปลงทดสอบที่ 1	99
	เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของผืนทราย และการลดระดับน้ำใต้ดิน 6 เมตร	99
4.5	สรุปประมาณการขนาดการทรุดตัวของชั้นดิน แปลงทดสอบที่ 1	101
4.6	การคำนวณปริมาณการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวของแปลงทดสอบ ที่ 1 เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของผืนทรายและวิธีใช้ความดันสุญญากาศ 6 ตัน/ม <sup>2</sup>	103
4.7	การคำนวณปริมาณการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวของแปลงทดสอบที่ 2 เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของผืนทราย ( $q = 1.6$ ตัน/ม <sup>2</sup> )	104
4.8	การคำนวณปริมาณการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวของแปลงทดสอบที่ 2 จากน้ำหนักบรรทุกชั้นที่ 1 ( $q = 4.6$ ตัน/ม <sup>2</sup> )	105
4.9	การคำนวณปริมาณการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวของแปลงทดสอบที่ 2 จากน้ำหนักบรรทุกชั้นที่ 2 ( $q = 6.6$ ตัน/ม <sup>2</sup> )	106
4.10	สรุปประมาณการขนาดการทรุดตัวของชั้นดิน แปลงทดสอบที่ 2	107
4.11	การคำนวณปริมาณการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวของแปลงทดสอบที่ 3 จากน้ำหนักบรรทุกของผืนทรายและการลดระดับน้ำใต้ดิน 5 เมตร	109
4.12	สรุปประมาณการขนาดการทรุดตัวของชั้นดิน แปลงทดสอบที่ 3	110

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	รูปแบบของท่อทรายระบายน้ำตามแนวตั้ง	14
2.2	การยุบอัดตัวกับ Time Factor, Th	14
2.3	แนวความคิดของทฤษฎีการยุบอัดตัวของท่อทรายระบายน้ำ	18
2.4	แนวความคิดของการใช้น้ำหนักบรรทุกก่อน	20
2.5	วิธีลดระดับน้ำใต้ดิน	22
2.6	วิธีความดันบรรยากาศ	22
2.7	การแบ่งชั้นดิน เหนียวสำหรับคำนวณปริมาณการทรุดตัว	22
2.8	ความดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้นใต้เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่บรรทุกแบบวงกลม (Circular loading)	31
2.9	ค่า $M_1$ ที่สัมพันธ์กับ $H_t/B$	31
2.10	อัตราส่วนการทรุดตัวสำหรับน้ำหนักบรรทุกวงกลม (สมการ 2.22)	34
2.11	ความดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้นใต้พื้นที่บรรทุกได้แนวกึ่งกลางของน้ำหนักบรรทุกแบบแถบ (Strip loading)	34
2.12	อัตราการทรุดตัวสำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบแถบ	35
3.1	(ก) ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณหนองงูเห่า	37
3.1	(ข) ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณหนองงูเห่า	38
3.2	รูปตัดขวางของ Shelby Tube Sampler	39
3.3	รูปตัดขวางของ Stationary Piston Sampler	40
3.4	รายละเอียดของ Standpipe piezometer	41
3.5	รายละเอียดของ Pneumatec piezometer	42
3.6	รายละเอียดของบ่อสังเกต (Observation Well)	45
3.7	รายละเอียดของ Electric Cone Penetrometer Tip	48
3.8	หลักการเบื้องต้นของการทดสอบ Stress Path	51
3.9	ตำแหน่งที่เลือกทำแปลงทดสอบของโครงการ	53
3.10	ตำแหน่งพื้นที่ทำแปลงทดสอบ	54

รูปที่	รายการรูปประกอบ (ต่อ)	หน้า
3.11	ตำแหน่งท่อทรายระบายน้ำ - แปลงทดสอบที่ 1	56
3.12	ตำแหน่งของฟิลเตอร์ด้านบนและด้านล่าง	57
3.13	รายละเอียดการจัดสายท่อจากท่อทรายระบายน้ำมายังเครื่องสูบน้ำ - แปลงทดสอบที่ 1	58
3.14	ตำแหน่งท่อทรายระบายน้ำ - แปลงทดสอบที่ 2	60
3.15	ตำแหน่งท่อทรายระบายน้ำ - แปลงทดสอบที่ 3	62
3.16	รายละเอียดการจัดสายท่อจากท่อทรายระบายน้ำมายังเครื่องสูบน้ำ - แปลงทดสอบที่ 3	63
3.17	การกระจายขนาดอนุภาคของทราย (Gradation of Sand) ที่ใช้ทำผืนทราย - แปลงทดสอบที่ 1 และ 3	65
3.18	การกระจายขนาดอนุภาคของทราย (Gradation of Sand) ที่ใช้ทำท่อทรายระบายน้ำ	66
3.19	ขนาดของเครื่องวิดน้ำ (Bailer)	68
3.20	ขั้นตอนวิธีการเจาะทำท่อทรายระบายน้ำ	70
3.21	ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดสำหรับการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 1	71
3.22	ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดสำหรับการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 2	72
3.23	ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดสำหรับการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 3	73
3.24	ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดในพื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)	74
3.25	รายละเอียดของแผ่นวัดการทรุดตัวตามผิวดิน (Surface Settlement Plate)	77
3.26	รายละเอียดของระบบอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer)	78
3.27	รายละเอียดของระบบการวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ (Sondex Settlement System)	80

รูปที่		หน้า
	<b>รายการรูปประกอบ (ต่อ)</b>	
3.28	รายละเอียดของมาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (Hydrostatic Profile gauges)	81
3.29	รายละเอียดของการอุดรอยรั่วบนพื้นทราย - แปลงทดสอบที่ 1	85
4.1	สรุปค่าดัชนีการอัดตัว (Compression Index, $C_c$ ) ที่ชั้นดินที่ ความลึกต่าง ๆ	91
4.2	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว ที่ได้จากการทดสอบในแนวตั้งและแนวราบ	92
4.3	การกระจายความดันน้ำในดิน (Piezometric head distribution)	93
4.4	ความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดระดับน้ำใต้ดิน 6 เมตร - แปลงทดสอบที่ 1	97
4.5	ความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้วิธีความดันสูญญากาศ 6 ดัน/ม <sup>2</sup> - แปลงทดสอบที่ 1	102
4.6	ความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดระดับน้ำใต้ดิน - แปลงทดสอบที่ 3	108
4.7	องศาของการยุบอัดตัว (Degree of Consolidation) ที่เกิดจากการไหลตามแนวราบและแนวตั้ง	114
4.8	การคาดการณ์อัตราทรุดตัว - แปลงทดสอบที่ 1	115
4.9	การคาดการณ์อัตราทรุดตัว - แปลงทดสอบที่ 2	116
4.10	การคาดการณ์อัตราทรุดตัว - แปลงทดสอบที่ 3	117
4.11	การทรุดตัวภาคตัดขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge - แปลงทดสอบที่ 1	118
4.12	การทรุดตัวภาคตัดขวางของแปลงทดสอบที่ 1 (ใช้ข้อมูลการวัดจาก แผ่นวัดการทรุดตัวผิวดินและเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์)	120
4.13	การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement) วัดได้จาก เครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์ - แปลงทดสอบที่ 1	121
4.14	ก. ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 1	122

รูปที่	น หน้า
<b>รายการรูปประกอบ (ต่อ)</b>	
4.14	ข. ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 1 123
	123
4.15	การเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวที่วัดได้กับการคาดการณ์อัตราการทรุดตัว - แปลงทดสอบที่ 1 125
4.16	อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันที่วัดได้ - แปลงทดสอบที่ 1 126
4.17	อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันเนื่องจากการยุบอัดตัว (ทางทฤษฎี) 128
4.18	อัตราการทรุดตัวที่ได้จากปริมาณน้ำที่สูบได้จากการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 1 129
4.19	การทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge - แปลงทดสอบที่ 2 132
4.20	การทรุดตัวภาคตัดขวางของแปลงทดสอบที่ 2 (ใช้ข้อมูลจากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน) 133
4.21	ก. การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement) วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์ - แปลงทดสอบที่ 2 134
4.21	ข. การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement) วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์ - แปลงทดสอบที่ 2 135
4.22	ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 2 136-137
4.23	การเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวที่วัดได้กับการคาดการณ์อัตราการทรุดตัว - แปลงทดสอบที่ 2 139
4.24	อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันที่วัดได้ - แปลงทดสอบที่ 2 140
4.25	การทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge - แปลงทดสอบที่ 3 142
4.26	การทรุดตัวภาคตัดขวางของแปลงทดสอบที่ 3 (ใช้ข้อมูลจากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน) 143
4.27	ก. ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer 144

รูปที่	หน้า
รายการรูปประกอบ (ต่อ)	
4.27	ข. ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer 145
4.28	การเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัว - แปลงทดสอบที่ 3 146
4.29	อัตราการทรุดตัวในแต่ละวันที่วัดได้ - แปลงทดสอบที่ 3 147
4.30	อัตราการทรุดตัวที่ได้จากปริมาณน้ำที่สูบได้ - แปลงทดสอบที่ 3 149
ข.1	ชั้นดินตามภาคตัด ต่างๆ 174 - 177
ข.2	ความหนาของชั้นดิน Weathered Clay ที่เปลี่ยนแปลงตลอด พื้นที่โครงการ 178
ข.3	ความหนาของชั้นดิน Very Soft Clay ที่เปลี่ยนแปลงตลอด พื้นที่โครงการ 179
ข.4	ความหนาของชั้นดิน Soft Clay ที่เปลี่ยนแปลงตลอดพื้นที่ โครงการ 180
ข.5	ความหนาของชั้นดิน Soft to Medium Clay ที่เปลี่ยน แปลงตลอดพื้นที่โครงการ 181
ข.6	การกระจายความดันน้ำในดิน (Piezometric head distribution) ตามความลึก 182
ข.7	คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของดินเหนียวบริเวณหนองงูเห่า ตามความลึก 184
ข.8	ปริมาณน้ำใต้ดินตามธรรมชาติและขีดจำกัดแอด เทอร์ เบอ์กตาม ความลึก 185
ข.9	แผนภาพแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินบริเวณหนองงูเห่า ในระบบดินเอกภาพ (Unified Soil System) 186
ข.10	กำลังรับแรงเฉือนแบบอัน เดรอนตามความลึก 189
ข.11	การเปรียบเทียบผลของกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ Field Vane กับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบอัน เดรอน จากห้องปฏิบัติการ 190

รูปที่

หน้า

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

ข.12	ผลของการทดสอบ electric Cone Penetration ตามความลึก	191
ข.13	ก. ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 1-2 เมตร	192
ข.13	ข. ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 2-4 เมตร	193
ข.13	ค. ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 4-6 เมตร	194
ข.13	ง. ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 6-8 เมตร	195
ข.14	สรุปผลของกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบที่ระนาบต่าง ๆ	196
ข.15	ความไวของดินตามความลึก (Sensitivity)	197
ข.16	ความดันวิกฤติ (Critical Pressure) และอัตราส่วนของการยุบอัดตัวที่ปรากฏ (Apparent Overconsolidation Ratio) ตามความลึก	198
ข.17	ก. ผลของการทดสอบการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ความลึก 0-1 เมตร และ 1-2 เมตร	199
ข.17	ข. ผลของการทดสอบการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ความลึก 2-4 เมตร และ 6-8 เมตร	200
ข.17	ค. ผลของการทดสอบการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ความลึก 8-10 เมตร 10-12 เมตร 12-16 เมตร และต่ำกว่า 16 เมตร	201
ข.18	สรุปค่าดัชนีการอัดตัว (Compression Index, $C_c$ ) ที่ชั้นดินที่ความลึกต่าง ๆ	202
ข.19	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว ที่ได้จากการทดสอบในแนวตั้งและแนวราบ	203
ข.20	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวทุติยภูมิตามความลึก (Coefficient of Secondary Compression)	204



รูปที่

หน้า

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

ข. 21	สัมประสิทธิ์ความชื้นได้ของดินที่ความลึกต่างๆ	205
ค. 1	ปริมาณน้ำที่สูบได้ระหว่างการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 1	208
ค. 2	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอน เด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 1	209- 211
ค. 3	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน	212-216
ค. 4	การทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge - แปลงทดสอบที่ 1	217
ค. 5	การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement) วัดได้จาก เครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์	218
ค. 6	ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 1	219-220
ค. 7	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบ ซอน เด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 2	221-223
ค. 8	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 2	224 -227
ค. 9	การทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge แปลงทดสอบที่ 2	228
ค. 10	การเคลื่อนตัวทางด้านข้างวัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์ - แปลงทดสอบที่ 2	209-210
ค. 11	ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 2	231-232
ค. 12	ปริมาณน้ำที่สูบได้ระหว่างการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 3	233
ค. 13	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบ ซอน เด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 3	234-235

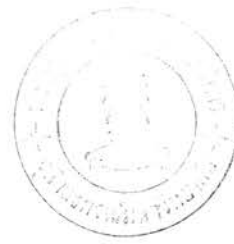
รูปที่

หน้า

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

ค. 14	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 3	236-239
ค. 15	การทรุดตัวแบบขวาง (profile )จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge - แปลงทดสอบที่ 3	240
ค. 16	ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 3	241-242
ค. 17	ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)	243
ค. 18	ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer - พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)	244

## สัญลักษณ์



$a_v$	=	สัมประสิทธิ์การอัดตัว (Coefficient of compressibility)
$A$	=	พารามิเตอร์สำหรับความดันน้ำในโพรง (Pore water pressure Parameter)
$B$	=	เส้นผ่านศูนย์กลาง ของพื้นที่วงกลมมีน้ำหนักบรรทุกสม่ำเสมอ
$C_c$	=	Compression Index
$C_c$	=	Compression Ratio
$C_r$	=	Recompression Ratio
$C_v$	=	สัมประสิทธิ์การยุบตัวในแนวตั้ง เนื่องจากการไหลของน้ำในแนวตั้ง
$C_{vr}$	=	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวในแนวตั้ง เนื่องจากการไหลของน้ำในแนวรัศมี
$C_{v-h}$	=	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว ทดสอบในแนวราบ
$C_{v-v}$	=	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว ทดสอบในแนวตั้ง
$CIU$	=	การทดสอบหาค่าลึงรับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปิกมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test)
$CK_{\circ}U$	=	การทดสอบหาค่าลึงรับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิกมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test)
$CK_{\circ}UE$	=	การทดสอบหาค่าลึงรับแรงเฉือนโดยการดึงของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปิกมาก่อน ด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Extension Test)
$d_e$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของเขตอิทธิพลของท่อทรายระบายน้ำ
$d_w$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทรายระบายน้ำ
$e$	=	อัตราส่วนของช่องว่างในมวลดิน (Void Ratio)
$e_o$	=	อัตราส่วนของช่องว่างในมวลดิน เมื่อเริ่มต้น (Initial void Ratio)
$\Delta e_i$	=	อัตราส่วนช่องว่างของมวลดินที่เปลี่ยนไปของแต่ละชั้น

- e = 2.718 .....
- H = ความหนาของชั้นดินที่พิจารณา
- $H_t$  = ความหนาของชั้นดินที่พิจารณาว่าเกิดการยุบอัดตัว
- $\Delta H_i$  = ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น
- i = ความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient)
- $J_0$  = ฟังก์ชัน เบสเซล ชนิดที่หนึ่ง ลำดับที่ศูนย์
- $J_1$  = ฟังก์ชัน เบสเซล ชนิดที่หนึ่ง ลำดับที่หนึ่ง
- k = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Coefficient of Permeability)
- $k_h$  = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในมวลดินตามแนวราบ
- $k_v$  = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในมวลดินตามแนวตั้ง
- $k_s$  = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ ของเขต Smear
- $K_0$  = สัมประสิทธิ์ของแรงดันด้านข้าง ณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of Earth pressure at Rest)
- $M_1$  = อัตราส่วนของอินทิกรัลของ  $\Delta \sigma_3$  และ  $\Delta \sigma_1$  จาก 0 ถึง  $H_t$
- $$[ M_1 = \frac{\int_0^{H_t} \Delta \sigma_3 dz}{\int_0^{H_t} \Delta \sigma_1 dz} ]$$
- ซึ่งมาจากความเค้นได้ศูนย์กลางของน้ำหนักบรรทุกทุกสม่ำเสมอที่มีพื้นที่แบบวงกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง B
- $m_v$  = สัมประสิทธิ์การอัดตัวแบบปริมาตร (Coefficient of volume Compressibility)
- OCR = Over Consolidation Ratio
- P = ความเค้นในแนวตั้ง
- $P_f$  = น้ำหนักของโครงสร้าง (structural load)
- $P_s$  = น้ำหนักส่วนเกิน (surcharge load)
- $\bar{P}_0$  = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้ง ในสภาวะแรก
- $\bar{P}_1$  = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้ง ในสภาวะหลัง

- $$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$
- $Q_c$  = Cone Resistance  
 $Q_f$  = sleeve friction  
 $r_e$  = รัศมีภายนอก  
 $S$  = ความถ่วงจำเพาะ  $[ S = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} ]$   
 $t$  = เวลาที่เกิดขึ้นในขบวนการยุบอัดตัว ในแต่ละขณะช่วงเวลา  
 $T_h, T_r$  = Time factor ของการยุบอัดตัวเนื่องจากการไหล  
 $T_v$  = ตัวประกอบเวลา เป็นตัวประกอบอิสระไม่มีหน่วย  
 $u$  = ความดันโพรง (Pore Pressure)  
 $u_0$  = ความดันโพรงเมื่อเริ่มต้น (Initial Pore Pressure)  
 $\Delta u$  = ความดันโพรงเพิ่ม (excess pore pressure)  
 $u_x$  = ความดันโพรงในมิติแกนราบ x  
 $u_y$  = ความดันโพรงในมิติแกนราบ y  
 $u_z$  = ความดันโพรงในมิติแกนตั้ง z  
 $\bar{u}_x$  = ความดันโพรงเฉลี่ยในมิติแกนราบ x  
 $\bar{u}_y$  = ความดันโพรงเฉลี่ยในมิติแกนราบ y  
 $\bar{u}_z$  = ความดันโพรงเฉลี่ยในมิติแกนตั้ง z  
 $u_r$  = ความดันโพรงที่ตำแหน่ง r ณ เวลา t ใด ๆ อันเนื่องมาจากการไหลของน้ำตามแนวรัศมีอย่างเดีย  
 $\bar{u}_r$  = ค่าเฉลี่ยของ  $u_r$  ตลอดทั้งมวลดินที่เวลา t ใด ๆ  
 $\bar{u}, u_{av.}$  = ความดันโพรงเฉลี่ย  
 $U$  = ดัชนีการยุบอัดตัวโดยเฉลี่ยที่รวมผลของการไหลของน้ำตามแนวตั้งและแนวราบ  
 $U_r$  = ดัชนีการยุบอัดตัวโดยเฉลี่ยที่เกิดจากการไหลของน้ำตามแนวราบ (รัศมี)  
 $U_v$  = ดัชนีการยุบอัดตัวโดยเฉลี่ยที่เกิดจากการไหลของน้ำตามแนวตั้ง

$v$	=	ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านมวลดิน
$x$	=	มิติในแกนราบ $x$
$y$	=	มิติในแกนราบ $y$
$Y_0$	=	ฟังก์ชันเบสเซล ชนิดที่สอง ลำดับที่ศูนย์
$Y_1$	=	ฟังก์ชันเบสเซล ชนิดที่สอง ลำดับที่หนึ่ง
$z$	=	มิติในแกนตั้ง $z$
$\gamma$	=	หน่วยน้ำหนักของน้ำ (unit weight)
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	=	รากของฟังก์ชันเบสเซล ซึ่งทำให้ $J_1(\alpha_n)Y_0(\alpha) - Y_1(\alpha_n)J_0(\alpha) = 0$
$\epsilon_v$	=	ความเครียดตามแนวตั้ง
$\rho_i$	=	การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อดินรับน้ำหนัก (Immediate settlement)
$\rho_t$	=	การทรุดตัวที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา (time dependent settlement)
$\rho_u$	=	การทรุดตัวที่เกิดขึ้นในลักษณะ Undrained local yield
$\rho_c$	=	การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการยุบอัดตัว (consolidation settlement)
$\Delta\rho_c$	=	การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการยุบอัดตัวในแต่ละชั้นดิน
$\rho_s$	=	การทรุดตัวเนื่องจากผลของ (Secondary compression)
$\rho_T$	=	การทรุดตัวรวมทั้งหมด (Total settlement)
$\rho_{c(oed)}$	=	ปริมาณการยุบอัดตัวแบบ 1 มิติที่ทดสอบด้วย Oedometer test
$\rho_{strip}$	=	อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกเป็นพื้นที่แถบยาว
$\rho_{circle}$	=	อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกเป็นพื้นที่วงกลม
$\bar{\sigma}_v$	=	ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้ง (Vertical effective stress)
$\bar{\sigma}_c$	=	ความเค้นประสิทธิผลก่อนเกิดการยุบอัดตัว (Preconsolidation stress)
$\bar{\sigma}_{0(i)}$	=	ความเค้นประสิทธิผลที่บริเวณกึ่งกลางของชั้นดิน
$\Delta\bar{\sigma}_i$	=	ความเค้นที่เพิ่มขึ้นที่กึ่งกลางของแต่ละชั้นดิน เนื่องจากมีน้ำหนักบรรทุกมากระทำ
$\Delta\sigma_v$	=	ความเค้นตามแนวตั้งที่เพิ่มขึ้น
$\Delta\sigma_3$	=	ความเค้นตามแนวแกนรองที่เพิ่มขึ้น