

การทำนายการหลุดตัวของคอสะพานในบริ เวณดินอ่อนโดยใช้หน่วยแบริ่ง



นาย ทินกร ไธจงธรรมา



ศูนย์วิทยพัทยากร
วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๘

ISBN 974-566-081-7

009687

T16789809

Settlement Prediction of Bridge Approach on a Soft Foundation
using Bearing Unit

Mr. Tinnakorn Rojanathara

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

Graduate School

1985

ISBN 974-566-081-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำนายการทรุดตัวของคอสะพานในบรีเวดตินอ่อนโดยใช้
หน่วยแมริง
โดย นาย ทินกร ไرجนธาวา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ มุนนาค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ยงยุทธ แคศิริ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวยการ)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ มุนนาค)

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

.....กรรมการ
(ดร. ยงยุทธ แคศิริ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทํานายการทรุดตัวของคอสะพานในบรีเวณดินอ่อน โดยใช้หน่วยแมริง
ชื่อณิสิต	นาย ทินกร ไรจนธารา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ มุนนาค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์	ดร. ยงยุทธ แต้ศิริ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2528

บทคัดย่อ

การก่อสร้างถนนที่ผ่านบรีเวณดินอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรุงเทพมหานคร และบรีเวณใกล้เคียงในแถบที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีปริมาณจราจรสูง ปัญหาสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ เรื่อง เสถียรภาพของคันทางและปัญหาการทรุดตัวที่เกิดขึ้นของถนน ในการแก้ไข้ปัญหาเรื่องเสถียรภาพของคันทางนั้น ปัจจุบันเชื่อว่าไม่มีวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงพอ ส่วนปัญหาการทรุดตัวมักจะถูกละ เลยการแก้ไข้ปัญหาจึงยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาของการทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างสะพานกับบรีเวณคอสะพาน ทั้งนี้เนื่องจากสะพานเป็นโครงสร้างอิสระ มีเสาเข็มหลังไปถึงชั้นดินแข็ง หรือชั้นทราย จึงมีการทรุดตัวน้อย ส่วนบรีเวณคอสะพานที่มีการออกแบบในลักษณะต่าง ๆ มักจะมีการทรุดตัวที่มากกว่า ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอ ไม่ราบเรียบ ฉะนั้น เวลาขับรถผ่านบรีเวณดังกล่าว ส่งผลให้เกิดปัญหาความไม่สะดวกและน่ารำคาญสำหรับผู้ใช้นถนนโดยทั่วไป ยิ่งกว่านั้นการซ่อมบํารุงต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก

การใช้หน่วยแมริงแก้้ปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกันของสะพานกับคอสะพานในบรีเวณดินอ่อนในปัจจุบัน เชื่อว่าเป็นวิธีการที่ให้ผลดีวิธีหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาลักษณะการทรุดตัวและวิเคราะห์หารวิธีที่เหมาะสมในการประมาณค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในบรีเวณคอสะพานที่ใช้หน่วยแมริงดังกล่าว

เพื่อประโยชน์ในการออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษา บริเวณคอสะพานในอนาคต

สถานที่วิจัยอยู่ที่บริเวณคอสะพานปลัดเป็เรียง หลักกิโลเมตรที่ 6+402.755 ของโครงการปรับปรุงทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง ตอนที่ 1 ได้มีการเก็บข้อมูลในสนาม และจากในห้องปฏิบัติการ ในสนามได้มีการติดตั้ง Settlement plates จำนวน 13 ตัว , Piezometer จำนวน 11 ตัว เพื่อตรวจสอบค่าการทรุดตัวรวมและแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มความล้าตัว นอกจากนี้ได้ทดสอบ Vane shear ในสนามจำนวน 7 หลุม และเจาะเก็บตัวอย่างดินคงสภาพจนถึงระดับความลึก -29 เมตร เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง และได้นำตัวอย่างดินคงสภาพมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติชั้นพื้นฐานและทางด้านวิศวกรรม เพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์การทรุดตัว

การประมาณค่าการทรุดตัวของหน่วยแบริ่งในบริเวณดินอ่อน ได้ใช้หลักการประมาณการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มที่รับน้ำหนักคงที่ ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของหน่วยแบริ่งประกอบด้วยเสาเข็มจำนวนมาก วิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง คือ

1. วิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งแยกตามสมมุติฐานที่ใช้ได้เป็น 2 แบบคือ
 - 1.1 วิธี Terzaghi (1952)
 - 1.2 วิธี Tomlinson (1979)
2. วิธี Modified Theory of elasticity ใช้สมมุติฐานของ Poulos and Davis (1980)

นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ของ IBM รุ่น Personal Computer ที่ใช้ระบบควบคุมการทำงานโดย DOS (Disk Operation System) Version ๑.๐ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " (Settlement Analysis of Pile Foundation) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Pongchai (1985) เพื่อทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ด้วยมือ และใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การทรุดตัวในรูปแบบอื่น ๆ อีกด้วย

ผลการตรวจสอบการทรุดตัวของบริเวณไหล่ทางฝั่งซ้ายของถนนขาออกจากกรุงเทพฯ ห่างจากแนวกึ่งกลางถนน ๓.๑๐ เมตร เป็นเวลา ๑.๘ เดือนหลังการก่อสร้าง พบว่า บริเวณคอสะพานที่ติดกับสะพานมีการทรุดตัวรวมน้อยมาก มีค่า 1.5 ซม. เทียบกับค่อม่อสะพาน ส่วนปลายของหน่วยแบริ่งห่างออกไป 50 เมตร มีการทรุดตัวรวมเท่ากับ 21.3 ซม. และค่าการทรุดตัวรวมเฉลี่ยที่กึ่งกลางหน่วยแบริ่งมีค่าเท่ากับ 14.0 ซม. การทรุดตัวรวมที่เกิดขึ้นคิดเป็น ๘๖.๑๖ ถึง ๑๗.1๐% ของการทรุดตัวรวมที่ประมาณตามวิธี Asaoka (1978) ซึ่งพิจารณาให้เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในสนาม ทั้งนี้เพราะได้จากการทรุดตัวที่เกิดในสนาม

จากผลการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามวิธีของ Terzaghi , Tomlinson และ Poulos พบว่าวิธี Terzaghi ให้ผลการทรุดตัวรวมไปทางมากคือ มีอัตราส่วนการทรุดตัวรวมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.1๘ - 1.๖๒ เมื่อเทียบกับผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามวิธี Asaoka (1978) ส่วนวิธี Tomlinson นั้น ให้ผลไม่สม่ำเสมอ จึงไม่อาจสรุปได้ และวิธี Poulos ให้ผลที่ดีในการวิเคราะห์การทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่ง คือ มีอัตราส่วนการทรุดตัวรวมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.๐๒ และ 1.๖๗ เมื่อพิจารณาเป็นการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวที่คิดผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง (Interaction) ในฐานราก และพิจารณาเป็นการทรุดตัวของแท่นหัวเข็ม (pile cap) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มเดี่ยวหรือคิดเป็น ๖๒% ของระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (Spacing) โดยพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่ของคันทางบริเวณคอสะพานเท่านั้น

การประมาณอัตราการทรุดตัว (Rate of Settlement) ที่ให้ผลดีคือวิธีของ Asaoka (1978) และใช้ทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำเป็นแบบ 1 มิติ ของ Terzaghi โดยให้ค่า C_v ในสนามประมาณ 59 ถึง 1๐4 เท่าของ C_v ในห้องปฏิบัติการ



Thesis Title Settlement Prediction of Bridge Approach on
 a Soft Foundation Using Bearing Unit.

Name Mr. Tinnakorn Rojanathara.

Thesis Advisor Professor Supradit Bunnag , Ph.D.

Thesis Co - Advisor Youngyuth Taesiri , Ph.D.

Department Civil Engineering.

Academic Year 1985.

ABSTRACT

The major problems of highway construction on the soft foundation over Bangkok area , which have the heavy traffic volumes , are slope stability and settlement of an embankment. The slope stability problem can be solved by effective methods , while the settlement is usually ignored in solving , especially , the differential settlement between bridge and its approach. The differential settlement occurs because the bridge is on a pile foundation which has a little settlement , but its approach , is on a shallow foundation , so it has more settlement. This problem causes an interrupted smooth grade , surface irregularities., uncomfortable ride and costly maintenance.

The objectives of this research are to study the settlement characteristic of bridge approach on a soft clay using bearing

unit and to analyze the performances of settlement prediction methods. The study will benefit engineer for the future road design , construction and maintenance.

The Klong Palat Praing bridge approach , station 6+402.755 of the Bang Na - Bang Pakong highway improvement section I , was studied. There were 13 settlement plates and 11 open stand pipe piezometers along the bearing unit to observe settlement and excess pore pressure respectively. Undisturbed samples to 29 meters below mean sea level were collected for Laboratory testing and seven field vane shear testes were performed in order to obtained parameters for settlement analysis.

The settlement predictions of pile foundation are used for analysis. There are two methods as followed.

1. Conventional method ;
 - 1.1 Terzaghi's method
 - 1.2 Tomlinson's method
2. Modified theory of elasticity called Poulos's method

For checking the results of hand computation , the author also used program of settlement analysis of pile foundation (SAPF) developed by Pongchai (1985) for IBM personal computer under disk operation system (DOS) in version 3.0. The reliability of settlement prediction by each method was also studied.

The observed settlement , at the left shoulder 3.9 meters from the center line of road way closed to an abutment , was 1.5 cm. in 9.8 months after construction. The bearing unit settled

21.3 cm. at 50 meter from bridge abutment and the settlement of 14.00 cm. was measured at its middle. At present 86.96 to 97.10% of total settlement was observed if Asaoka's method of total settlement prediction was correct since was the settlement obtained by observed.

The results of settlement prediction by Terzaghi's method indicated high settlement ratio about 1.18 - 1.82 to Asaoka's method. Tomlinson's method indicated a wide range of settlement ratio, so it couldn't be concluded. The best method was the modified theory of elasticity by Poulos's method which indicated settlement ratio about 1.02 and 1.67 when they were analysed by settlement of single pile foundation, included of interaction of other piles in the foundation and pile cap diameter effect was 7 times of single pile diameter or equal to 62% of the spacing, also using dead load of approach embankment.

The Asaoka's graphical method using Terzaghi one dimensional theory show a good prediction of rate of settlement and indicates the field coefficient of consolidation about 59 to 104 times of laboratory coefficient of consolidation.

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ มุนนาค และ ดร. ยงยุทธ แต่ศิริ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ทั้งทางทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้านทุนการศึกษา และการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงศ์ ที่ได้กรุณาอ่านความสะดวกในการใช้ห้องวิจัย ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไข วิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านอธิบดีกรมทางหลวง นาย จำลอง ศาลิคุปต์ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย คุณสว่าง ศวีร์กุล , คุณ สุชาติ ลีรณสัน ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างดินและทดสอบ In situ Vane Shear และโดยเฉพาะ นายช่าง อุทิศ ทองประเสริฐ (Project Engineer) นายช่าง เสรี พงศ์ศวีวัฒน์ และ คุณ นิรันดร์ เย็นบุตร ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง นายช่าง ประสงค์ บุญประสงค์ ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่อง Settlement plates และอาจารย์ สภาพร อุวิจิตรจากรุ ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ รวมถึงการติดตั้ง Piezometers. ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ และห้องปฏิบัติการโยธา ภาค วิศวกรรมโยธา และรองศาสตราจารย์ ดร. วิชา จิวาลัย แห่งภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ได้ช่วยเหลือร่วมมือเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดผู้เขียนปรารถนาที่จะแสดงความรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษาในระดับนี้

ทินกร ไธนาธรา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
กิตติกรรมประกาศ	ญ
สารบัญ	ฉ
รายการตารางประกอบ	ค
รายการรูปประกอบ	น
สัญลักษณ์	ย
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษารวิจัย	2
2. การศึกษาปัญหาการหลุดตัวของคอสะพานในอดีต	4
2.1 การศึกษาในทวีปอเมริกา	4
2.2 การศึกษาในทวีปยุโรป	17
2.2.1 ประเทศอังกฤษ	17
2.2.2 ประเทศสกอตแลนด์	17
2.2.3 ประเทศนอร์เวย์	19
2.3 การศึกษาในทวีปออสเตรเลีย	22
2.4 การศึกษาในทวีปเอเชียทางแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4.1 การศึกษาในประเทศไทย	31
2.4.2 การศึกษาในประเทศมาเลเซีย	40
๓. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์และการดำเนินการวิจัย	45
<u>ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์</u>	45
3.1 การยุบอัดตัวของเสาเข็ม (Compression of Pile)	45
3.2 การยุบอัดตัวของดิน (Compression of soil)	45
3.2.1 การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediate settlement).....	45
3.2.2 การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation settlement)..	45
3.2.3 การทรุดตัวแบบ Creep (Creep or Secondary settlement).	46
3.3 วิธีการประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม	46
3.3.1 การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม	
โดยวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)	46
3.3.1.1 การพิจารณาการกระจายของหน่วยแรง	
(Stress Distribution)	46
3.3.1.2 การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบ	
เสาเข็มด้วยวิธีการของ Terzaghi	48
3.3.1.2.1 การทรุดตัวในดินเหนียว	48
3.3.1.2.2 การทรุดตัวในทราย	52
3.3.1.3 การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบ	
เสาเข็มด้วยวิธีการของ Tomlinson	54
3.3.1.3.1 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มในชั้น	
ดินเหนียว (Clay)	54

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
	1) การทรุดตัวแบบทันทีทันใด..... 56
	2) การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ..... 56
๓.๓.๑.๓.๒	การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มใน ชั้นทราย (Sand)..... 60
๓.๓.๑.๔	การทรุดตัวในสภาพดินที่เป็นชั้น ๆ (Layered System)..... 60
๓.๓.๑.๔.๑	ผลกระทบต่อค่าการทรุดตัวทันที ที่รับน้ำหนัก 61
๓.๓.๑.๔.๒	ผลกระทบต่อการกระจายของ หน่วยแรงเค้นในดิน..... 61
๓.๓.๑.๔.๓	การประมาณค่าการทรุดตัวในดิน ที่เป็นชั้น ๆ 63
๓.๓.๑.๔.๔	การหาคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการ ประมาณค่าการทรุดตัวด้วยวิธีดั้งเดิม.. 63
๓.๓.๒	การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มโดยวิธี Modified Theory of Elasticity 64
๓.๓.๒.๑	การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว (Settlement of Single Pile) 65
๓.๓.๒.๑.๑	การทรุดตัวในเสาเข็ม (Settlement of Pile) 65
	1) สำหรับ Floating Pile.... 65
	2) สำหรับ End Bearing Pile. 66
๓.๓.๒.๑.๒	การทรุดตัวของดินในชั้น Underlying (Underlying Settlement)..... 71

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

๓.๓.๒.๑.๓ การทรุดตัวทันทีและค่าการทรุดตัว
สุดท้าย 73

๓.๓.๒.๒ การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม (Settlement of
Pile Groups) 75

๓.๓.๒.๒.๑ ผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง
(Interaction) 75

1) สำหรับ Floating Pile 75

2) สำหรับ End Bearing Pile
ที่ยังในชั้น Rigid Stratum .. 76

3) สำหรับ End Bearing Pile
ที่ยังในชั้นที่ยุบตัวได้
(Compressibility of
Bearing Stratum) 76

4) สำหรับ Pile raft system .. 80

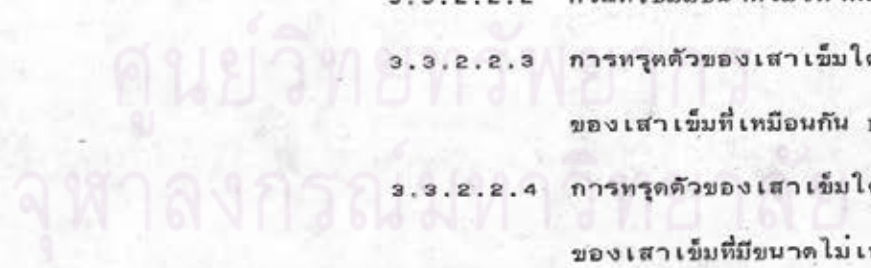
๓.๓.๒.๒.๒ กรณีที่เข็มมีขนาดไม่เท่ากัน 80

๓.๓.๒.๒.๓ การทรุดตัวของเสาเข็มใด ๆ ในกลุ่ม
ของเสาเข็มที่เหมือนกัน n ต้น 80

๓.๓.๒.๒.๔ การทรุดตัวของเสาเข็มใด ๆ ในกลุ่ม
ของเสาเข็มที่มีขนาดไม่เท่ากัน n ต้น .. 82

๓.๓.๒.๒.๕ การหาค่าการทรุดตัวของดินข้างใต้
เนื่องจากผลของเสาเข็มกลุ่ม
(Underlying settlement) 83

๓.๓.๒.๒.๖ การพิจารณาเสาเข็มกลุ่มให้เป็นเสา
เข็มเดี่ยวสมมูลย์ 83



สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

3.3.2.2.7	การหาคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มโดยวิธี Modified Theory of Elasticity	84
3.3.2.2.8	ผลของแท่นหัวเข็ม (Pile Cap) ต่อการทรุดตัวของเสาเข็ม	85
	1) Flexible Cap	85
	2) Rigid Cap	87
3.4	อัตราทรุดตัว (Rate of Consolidation)	87
3.4.1	Asaoka's Graphical Method (1978,1980)	92
	<u>การดำเนินการวิจัย</u>	96
3.6	ลักษณะทั่วไปของทางหลวงสายบางนา - บางปะกง	96
3.7	สภาพและลักษณะทั่วไปของดินบริเวณสายทาง	100
3.8	สถานที่ทำการศึกษา	100
3.9	การศึกษาในสนาม	104
3.9.1	Piezometer แบบ Open stand pipe	104
3.9.2	Settlement plates	104
3.9.3	การทดสอบ Vane shear strength ของดินในสนาม	104

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.9.4 การเจาะสำรวจและ เก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undistrubed Sampling)	104
3.10 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ (Laboratory)	110
3.10.1 การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดิน (Basic properties) ...	110
3.10.2 การทดสอบคุณสมบัติทางคานวิศวกรรม (Engineering properties)	110
4. วิเคราะห์การทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่ง	115
4.1 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัว	115
4.1.1 สภาพของชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน	115
4.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเสาเข็ม	120
4.1.2.1 คุณสมบัติของเสาเข็ม	120
4.1.2.2 ผลการทดสอบเสาเข็ม (Pile Load Test)	121
4.1.2.3 การคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_s) จากการทดสอบเสาเข็ม	122
4.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของฐานราก	123
4.1.4 การจัดกลุ่มของเสาเข็มในการคำนวณค่าการทรุดตัว (Pile Configuration)	123
4.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็ม (Load)	126
4.2 วิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่ง	126
4.2.1 การวิเคราะห์ด้วยมือ (Hand Calculation)	127
4.2.1.1 วิธี Terzaghi	129
4.2.1.2 วิธี Tomlinson	129
4.2.1.3 วิธี Poulos	130

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

1)	การหลุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediate Settlement)	130
1.1)	การหลุดตัวเนื่องจากดินและเสาเข็ม ในชั้น Founding , ρ_{fd}	130
1.2)	การหลุดตัวของดินในชั้น Underlying , ρ_{ud}	132
2)	การหลุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement)	133
4.2.2	การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF "	133
4.2.2.1	สมมุติฐานและข้อจำกัดของตัวโปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF "	135
4.2.2.2	รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์	137
4.2.2.3	การวิเคราะห์ด้วยวิธี Terzaghi	138
4.2.2.4	การวิเคราะห์ด้วยวิธี Tomlinson	139
4.2.2.5	การวิเคราะห์ด้วยวิธี Poulos	139
4.2.3	การวิเคราะห์อัตราการหลุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแม่แรงใน บริเวณดินอ่อน	156
5.	วิจารณ์ผลการวิเคราะห์การหลุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่มีหน่วยแม่แรง ...	166
5.1	ผลการวิเคราะห์โดยวิธี Terzaghi	166
5.1.1	การประมาณค่าการหลุดตัวด้วยมือ	166
5.1.2	การประมาณค่าการหลุดตัวโดยใช้โปรแกรม " SAPF " วิธี Terzaghi	167

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Tomlinson	167
5.2.1 การประมาณค่าการทรุดตัวด้วยมือ	167
5.2.2 การประมาณค่าการทรุดตัวโดยใช้โปรแกรม " SAPF "	
วิธี Tomlinson	168
5.3 การประมาณการทรุดตัวโดยใช้วิธี Poulos	168
5.3.1 การประมาณค่าการทรุดตัวด้วยมือ	168
5.3.2 การประมาณค่าการทรุดตัวโดยใช้โปรแกรม " SAPF "	
วิธี Poulos	169
5.4 ผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ ต่อการประมาณการทรุดตัวโดยใช้โปรแกรม	
" SAPF " ตามวิธี Poulos	171
5.5 ผลการวิเคราะห์อัตราทรุดตัว	178
6. สรุปผลและข้อ เสนอแนะสำหรับการวิจัยขั้นต่อไป	180
6.1 สรุปผลการวิจัย	180
6.2 ข้อ เสนอแนะต่องานของกรมทางหลวงและกรุงเทพมหานคร	183
6.3 ข้อ เสนอแนะในการทำวิจัยขั้นต่อไป	186
เอกสารอ้างอิง	187
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF "	193
ข. ตัวอย่างการคำนวณค่าการทรุดตัวจากโปรแกรม " SAPF "	201
ค. รายละเอียดของหน่วยแบริ่งที่ใช้ในบริเวณสะพานปลัด เป็ริยง	256
ง. รูปแบบของหน่วยแบริ่งมาตรฐานที่กรมทางหลวงใช้	259
จ. ผลการตรวจสอบค่าการทรุดตัวรวมและแรงดันน้ำในโพรงเริ่ม บริเวณ	
ที่ทำการศึกษา	262
ประวัติผู้เขียน	272

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	รายละเอียดของสะพานต่าง ๆ ที่ใช้วัสดุเบาพวก Plastic Foam เป็นวัสดุถมบริเวณคอสะพานในประเทศนอร์เวย์ (After NRRL , 1980).....	21
2.2	ความหนาแน่นของวัสดุเบาชนิดต่าง ๆ	21
2.3	ความหนาของผิวทางคอนกรีตในสภาวะที่เกิดการแข็งตัวของน้ำได้ถนน (After NRRL , 1980).....	21
2.4	รายละเอียดของเสาเข็มรับน้ำหนักคันทางที่ใช้กับทางหลวงสายบางปะอิน - นครสวรรค์ (After Holmberg , 1978).....	41
3.1	ค่า Geological Factor , μ_g (After Skempton & Bjerrum , 1975)	62
3.2	ค่าของอัตราส่วนบัวของแอมระมาณน้ำ . (V'_g).....	62
3.3	ค่าเฉลี่ยของ K สำหรับเสาเข็มดิน.....	62
3.4	ความสัมพันธ์ของ U กับ T ของทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ เมื่อแรงดันน้ำในโพรงเพิ่ม เริ่มต้นมีการระบายได้สองทิศทาง.....	90
3.5	สมการสำหรับทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ , 2 มิติ และ 3 มิติ ในสภาพระมาณน้ำ (After Gibson and Lumb , 1957 , Murray , 1978).....	91
3.6	ปริมาณอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งและทดสอบในสนาม.....	105
3.7	รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์และการทดสอบในสนาม.....	105
3.8	ชนิดและจำนวนของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	112

ตารางที่	หน้า
๓.๙	ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดินที่หลุมเจาะ BH-1 และ BH-2..... 112
3.10	ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำในลักษณะ 1 มิติ ด้วยเครื่อง Oedometer ของหลุมเจาะ BH-1 และ BH-2 114
3.11	ผลการทดสอบ \overline{CIUC} - Triaxial ของหลุมเจาะ BH-1..... 114
4.1	ค่าการหดตัวที่ยอมให้ (After Grant and Christian , 1974)..... 128
4.2	สรุปวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 136
4.3	สมมุติฐานที่ใช้กับวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าการหดตัวของคอ สะพานที่ใช้หน่วยแบริ่ง ตามวิธี Terzaghi..... 144
4.4	สมมุติฐานที่ใช้กับวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าการหดตัวของคอ สะพานที่ใช้หน่วยแบริ่ง ตามวิธี Tomlinson..... 148
4.5	สมมุติฐานที่ใช้กับวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าการหดตัวของคอ สะพานที่ใช้หน่วยแบริ่ง ตามวิธี Poulos 148
4.6	สรุปผลการประมาณค่าการหดตัวรวมและอัตราส่วนการหดตัวรวม โดยใช้วิธีการต่าง ๆ 151
4.7	รายละเอียดค่าการหดตัวแบบอัดตัวคายน้ำที่ช่วงเวลาคงที่ใด ๆ ตามวิธี Asaoka..... 157
4.8	ค่า C_v ในสนาม และ C_v ในห้องปฏิบัติการ บริเวณคอสะพานปลัดเป็เรียง..... 158
4.9	ผลการประมาณค่าการหดตัวรวมตามวิธี Asaoka 158
ข.1	สรุปผลการคำนวณเพื่อประมาณค่าการหดตัวรวม ตามวิธี Terzaghi..... 202
ข.2	สรุปผลการคำนวณเพื่อประมาณค่าการหดตัวรวม ตามวิธี Tomlinson..... 217
ข.3	สรุปผลการคำนวณเพื่อประมาณค่าการหดตัวรวม ตามวิธี Poulos..... 233

ตารางที่	หน้า
จ.1	ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวรวมบริเวณคอสะพานปลัดเปรียง 269
จ.2	ข้อมูลการวัดค่าแรงดันน้ำในโครงเข็มบริเวณคอสะพานปลัดเปรียง 270
จ.3	ข้อมูลการวัดค่าแรงดันน้ำในโครงดินจาก Dummy Piezometer..... 271



ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างของการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวที่ต่างกันบริเวณคอสะพาน (After C.W. Jones , 1959)	6
2.2	ตัวอย่างของปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอสะพาน (After Highway Research Board , 1969)	9
2.3	ลักษณะของค่อม่อสะพานแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทรุดตัวแตกต่างกัน (After HRB., 1969)	11
2.4	วิธีการแก้ไขและปรับปรุงดินฐานรากเดิมให้ดีขึ้น (After HRB., 1969)	12
2.5	วิธีการที่ใช้ในการระบายน้ำข้างหลังคอสะพานที่มีค่อม่อแบบต่าง ๆ (After HRB., 1969)	13
2.6	การใช้วัสดุชนิดพิเศษหรือการก่อสร้างเป็นพิเศษบริเวณค่อม่อคอสะพาน (After HRB., 1969)	14
2.7	ลักษณะของแผ่นพื้นคอสะพานและรอยต่อแบบต่าง ๆ (After HRB., 1969)	15
2.8	รอยต่อและการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดการทรุดตัวที่บริเวณคอสะพาน (After HRB., 1969)	16
2.9	ผลการเปรียบเทียบการทรุดตัวที่เกิดเมื่อใช้วัสดุเบาพวก PFA. (Pulverised fuel ash) กับทรายเป็นวัสดุถมบริเวณคอสะพาน (After Margason , 1966)	18
2.10	รายละเอียดของการใช้ระบบ BASP. (Bridge Approach Support Piling system) ในการแก้ปัญหามริเวณคอสะพาน (After Reid and Buchanan , 1984)	20

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.11	ลักษณะการนำ Plasic Foamชนิด Expanded polystyrene มาใช้กับงานสร้างทางหลวง (After NRRL , 1980) 21
2.12	ลักษณะการนำวัสดุเบาพวก Polystyrene foam เป็นวัสดุถม บริเวณคอสะพาน Lenken ในประเทศนอร์เวย์ (After Rugg and Sørllie , 1981) 23
2.13	หน่วยแรงเค้นที่เกิดในดินถมบริเวณคอสะพาน (After Davis and Taylor , 1962) 25
2.14	ข้อสมมุติฐานการกระจายของหน่วยแรงเค้นเมื่อมีดินถมในลักษณะต่าง ๆ (After Davis and Taylor , 1962) 26
2.15	ตัวแปรที่ใช้ในการหาค่า I ในแนวแกนต่าง ๆ (After Davis and Taylor , 1962) 29
2.16	การเปลี่ยนพื้นที่รับน้ำหนักบริเวณจุดสิ้นสุดของดินถมให้เป็นพื้นที่ที่รับน้ำหนักสม่ำเสมอ (After Davis and Taylor , 1962)..... 30
2.17	แบบแสดงคอสะพานของทางหลวงสายบางนา - บางปะกง (After วิชาญ , 2523) 33
2.18	แบบแสดงคอสะพานของทางหลวงสายธนบุรี - ปากท่อ (After วิชาญ , 2523) 34
2.19	แบบแสดงคอสะพานของทางหลวงสายคลองด่าน - บางมอ (After วิชาญ , 2523) 36
2.20	รายละเอียดรูปตัดคอสะพานบริเวณสะพานสุทธินสาร (After วิชาญ , 2523) 37
2.21	รายละเอียดบริเวณคอสะพานท่าช้าง (สะพานพระที่นั่งเกล้า) ด้านฝั่งธนบุรี (After วิชาญ , 2523) 38

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.22	กราฟ เปรียบเทียบการทรุดตัวกับ เวลาจากวิธีการต่าง ๆ (After วิชาญ , 2523)	39
2.23	วิธีการออกแบบเสาเข็มรับน้ำหนักคันทาง (Embankment Pile) บริเวณคอสะพานของทางหลวงสาย บางปะอิน - นครสวรรค์ (After Holmberg , 1978)	41
2.24	รายละเอียดของการใช้ Piled Embankment ของทางด่วนสาย Jalen Derga ในมาเลเซีย (After Chin Fung Kee , 1985)...	43
3.1	การถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มกลุ่มลงดิน (After Teng , 1962) , (NAVFAC , 1982)	47
3.2	การถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มกลุ่มลงดิน (After Tomlinson , 1979) ..	49
3.3	ผลที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวคาน้ำ.....	51
3.4	ความสัมพันธ์ของค่า N กับค่า CR และ $\frac{1}{m_v}$ และค่า α ภายใต้ Circular flexible foundation.....	53
3.5	Factor μ_0 และ μ_1 (After Janbu et al., 1956).....	55
3.6 (ก)	ค่าปรับแก้ผลของความลึกของพื้นที่รับน้ำหนัก (After Fox , 1948)...	57
3.6 (ข)	ค่าปรับแก้ (Skempton and Bjerrum , 1957) และกราฟ Stress Influence ในดิน 2 ชั้นของ Burmister (After Burmister , 1943)	57
3.7 (ก), (ข)	หน่วยแรงเค้นทางตั้งที่จุดตรงมุมของน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ เดิมพื้นที่รูป สี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายใต้ Elastic Half - space (After Tomlinson , 1979) , (Boussinesq).....	58
3.7 (ค)	การกระจายของหน่วยแรงเค้นภายใต้น้ำหนักแผ่สม่ำเสมอรูปวงกลม (Boussinesq).....	59

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
๓.๘ (ก)	Influence factor , I_o 67
๓.๘ (ข)	ค่าปรับแก้สำหรับการยุบตัวของเสาเข็ม , R_k 67
๓.๘ (ค)	ค่าปรับแก้สำหรับระยะความลึกของ Rigid base , R_h 67
๓.๘ (ง)	ค่าปรับแก้สำหรับอัตราส่วนบัวของ , R_v 67
๓.๙	ค่าปรับแก้สำหรับความแข็งของ Bearing Stratum , R_D 68
๓.๑๐	ค่าปรับแก้สำหรับการเกิดการเลื่อนไถลของเสาเข็มกับดิน 70
๓.๑๑ (ก)	ค่าปรับแก้เนื่องจากอิทธิพลของ Underreaming (Single central bulb) 72
๓.๑๑ (ข)	ค่าปรับแก้เนื่องจากอิทธิพลของ Tapering หรือ Step - tapering.. 72
๓.๑๑ (ค)	ค่าปรับแก้เนื่องจากอิทธิพลของ Pile cap , F_r 72
๓.๑๒	Displacement Influence Factor , I_p (After Poulos and Davis , 1974) 74
๓.๑๓ (ก)	อัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักต่อค่าการทรุดตัวสุดท้าย, ρ_i / ρ_{tf} สำหรับเสาเข็มแบบ Incompressible ใน Semi - infinite mass (After Poulos and Davis , 1968) 76
๓.๑๓ (ข)	อัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักต่อค่าการทรุดตัวสุดท้าย ρ_i / ρ_{tf} สำหรับเสาเข็มแบบ Compressible floating (After Mattes and Poulos , 1969) 76
๓.๑๔ (ก)	Interaction factor สำหรับเสาเข็มแบบ floating , α_f (After Poulos and Davis , 1974) 77
๓.๑๔ (ข)	Interaction factor สำหรับเสาเข็มแบบ End - Bearing , α_E (After Poulos and Davis , 1974) 77
๓.๑๕	ค่าปรับแก้ Interaction factor สำหรับ Finite layer depth , N_h 70

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16	ค่าปรับแก้ Interaction factor สำหรับความแข็งของ Bearing Stratum , F_E 79
3.17	Interaction factor สำหรับเสาเข็มในระบบ pile raft , α_r (After Poulos and Davis , 1972) 81
3.18 (ก)	การหาเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์ สำหรับ เสาเข็มกลุ่มแบบ Floating (After Poulos and Mattes , 1971) 86
3.18 (ข)	การหาความยาวสมมูลย์สำหรับเสาเข็มกลุ่มแบบ Floating (After Davis and Mattes , 1971) 86
3.19	ค่าปรับแก้ผลการทดสอบเสาเข็ม (After Bomerjee , 1971) 86
3.20 (ก)	อัตราการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายนํ้าสำหรับ Vertical Drainage เมื่อเพิ่มนํ้าหนักบรรทุกทันที (After สุรฉัตร . 2523) ... 89
3.20 (ข)	T_{2d} VS \bar{U} สำหรับ Plane Strain Consolidation โดยมี Double Drainage และ Isotropic Permeability (After Lacasse et al., 1975) 89
3.21	การหาค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายนํ้าทั้งหมดตามวิธี Asaoka (After Asaoka , 1978) 96
3.22	การหาค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายนํ้าทั้งหมดตามวิธี Asaoka ของจุด S_5 และ S_6 97
3.23	การหาค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายนํ้าทั้งหมดตามวิธี Asaoka ของจุด S_7 และ S_8 98
3.24	การหาค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายนํ้าทั้งหมดตามวิธี Asaoka ของจุด S_9 และ S_{10} 99

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.25 (ก)	ความสัมพันธ์ระหว่าง Moisture Content กับความลึกของถนน สาย บางนา - บางปะกง (After ยงยุทธ , 2523)	101
3.25 (ข)	ความสัมพันธ์ระหว่าง Undrained Shear Strength กับความลึก ของถนนสาย บางนา - บางปะกง (After ยงยุทธ , 2523)	101
3.26	ค่าการทดสอบ In situ Vane Shear Strength ของถนนสาย บางนา - บางปะกง (After Cox , 1981)	102
3.27	ความสัมพันธ์ระหว่าง Compression Ratio และ Apparent preconsolidation pressure กับความลึก (After ยงยุทธ , 2523)	102
3.28	แผนที่แสดงสถานที่ทำการศึกษาริวิจัย.....	103
3.29	แสดงรายละเอียดของจุดติดตั้ง Settlement plates และ Piezometer บริเวณ Bearing Unit.....	106
3.30	รายละเอียดของ Settlement plates และ Piezometer (After สถาพร , 2523)	107
3.31	แสดงตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ จุดทดสอบของ Vane Shear , จุดติดตั้ง Dummy Piezometer และหมุดหลักฐานอ้างอิง.....	108
3.32	แสดงผลการทดสอบ Vane shear ในสนาม.....	109
3.33	แสดงรายละเอียดชั้นดินของหลุมเจาะ BH-1.....	111
4.1	วิธีการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างและผลการตรวจสอบ.....	118
4.2	ผลการคำนวณกลับจากการทดสอบเสาเข็มขนาด I 0.26 x 0.26 x 21.0 ม.	124
4.3	ผลการคำนวณกลับจากการทดสอบเสาเข็มขนาด ■ 0.20 x 0.20 x 14.0 ม.	125

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	แสดงการจัดรูปแบบ เป็นเสา เข็ม เดี่ยวพิจารณาผลกระทบภายในหน่วย แมริง ถูกแยกออกเป็น 4 ช่วง	140
4.5	แสดงการจัดรูปแบบ เป็นเสา เข็มกลุ่มซึ่งประกอบด้วยเสา เข็มจำนวน 6 ต้น	141
4.6	แสดงการจัดรูปแบบ เป็นเสา เข็มกลุ่มซึ่งประกอบด้วยเสา เข็มจำนวน 4 ต้น	142
4.7	แสดงการจัดรูปแบบ เป็นเสา เข็ม เดี่ยวพิจารณาผลกระทบภายในหน่วย แมริงทั้งหมด	143
4.8	แผนผังการทำงานของโปรแกรม " SAPF " (After Pongchai , 1985)	134
4.9	ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัดของตัวโปรแกรม " SAPF " (After Pongchai , 1985)	138
4.10	แสดงผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแมริง โดย วิธีการของ Terzaghi	152
4.11	แสดงผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแมริง โดย ใช้วิธีการของ Tomlinson	153
4.12	แสดงผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแมริง โดย ใช้วิธีการ Modified Theory of Elasticityของ Poulos และ Davis (1980)	154
4.13	สรุปผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแมริง โดย วิธีการที่ให้ผล เป็นที่น่าพอใจ	155

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14	<p>แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_5 โดย ใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตาม ทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al. (1975) 160</p>
4.15	<p>แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_6 โดย ใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตาม ทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al. (1975) 161</p>
4.16	<p>แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_7 โดย ใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตาม ทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al. (1975) 162</p>
4.17	<p>แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_8 โดย ใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตาม ทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al. (1975) 163</p>
4.18	<p>แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_9 โดย ใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตาม ทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ของ Lacasse et. al. (1975) 164</p>
4.19	<p>แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_{10} โดย ใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตาม ทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ของ Lacasse et. al. (1975) 165</p>

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	แสดงผลกระทบต่อการทรุดตัวของจุดที่ติดตั้ง Settlement plate , S_e	172
5.2	แสดงผลกระทบต่อการทรุดตัวเนื่องจากดินและเสาเข็มในชั้น Founding ของจุดที่ติดตั้ง Settlement plate S_e	173
5.3	แสดงผลกระทบต่อการทรุดตัวของดินในชั้น Underlying ของจุดที่ติดตั้ง Settlement Plate S_e	174
5.4	แสดงผลกระทบต่อการทรุดตัวเนื่องจากดินและเสาเข็มในชั้น Founding และ Underlying ของจุดที่ติดตั้ง Settlement plate S_e	175
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการทรุดตัวรวมต่อความยาว เสา เข็มกับความยาว เสา เข็ม	177
5.6	แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของการทรุดตัวรวมต่อระยะห่าง ระหว่างเสา เข็มกับความยาว เสา เข็ม	178
6.1	รูปแบบของหน่วยแรงแรงที่ เสนอแนะในการทำวิจัยขั้นต่อไป	184

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สัญลักษณ์

A, B	=	พารามิเตอร์ ความดันน้ำในโพรง (Skempton)
B	=	ความกว้างของเสาเข็มกลุ่ม
C_1, C_2, C_3	=	สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคาน้ำแบบ 1 มิติ , 2 มิติ , 3 มิติ (Murray , 1978)
CR	=	อัตราส่วนการอัด
C_c	=	ดัชนีการอัด
C_v	=	Coefficient of Consolidation
C_r	=	ดัชนีการอัดซ้ำ
D	=	Constrained Modulus
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเสาเข็ม
d_b	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของปลายเสาเข็ม
d_c	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแท่นหัวเข็ม (pile cap)
d_e	=	เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของกลุ่มเสาเข็ม
E	=	Young Modulus
E_b	=	Young Modulus ของชั้นแยกทาน
E_s	=	Young Modulus ของดิน
E_u	=	Young Modulus ของดินในสภาพไม่ระบายน้ำ
E'_6	=	Young Modulus ของดินในสภาพระบายน้ำ
e_o	=	อัตราส่วนช่องว่างของเม็ดดินเริ่มแรก
F_c	=	อัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวจริงต่อค่าการทรุดตัวที่วัดได้ ของ เสาเข็มที่ทดสอบ
F_E	=	แฟคเตอร์สำหรับเสาเข็มคาล
F_R	=	แฟคเตอร์สำหรับผลของแท่นหัวเข็มต่อการทรุดตัวของเสาเข็ม

สัญลักษณ์ (ต่อ)

H	= ระยะจากหัวเสาเข็มถึงความลึกที่พิจารณา
h	= ระยะจากหัวเสาเข็มถึง Rigid Base (Poulos and Davis)
h , δh , Δh	= ความหนาของชั้นดินเหนียวที่พิจารณา
I	= Influence factor (D'Appolonia et al.)
I	= Influence factor (F adum)
I	= Influence factor (Tavenas)
I_{ij}	= Influence factor (Poulos and Taylor)
I_o	= Influence factor (Poulos and Davis)
I_p	= Influence factor (Skempton and Bjerrum)
I_ρ	= Displacement Influence factor (Poulos and Davis)
$I_{0.5}$	= Displacement Influence factor เมื่ออัตราส่วนผิวของ เท่ากับ 0.5
I'_v	= Displacement Influence factor เมื่ออัตราส่วนผิวของ เป็นแบบระบายน้ำ
K	= Pile Stiffness factor
K_0 , K_2 , K'_2	= Influence factor (Giroud)
L_2 , L'_2	= Influence factor (Giroud)
L	= ความยาวของเสาเข็ม
L_e	= ความยาวสมมูลย์ของเสาเข็ม
LL	= ชีตเหลว
m_v	= Coefficient of volume compressibility
$\frac{1}{m_v}$	= Constrained Modulus
$0^{m_{ij}}$, $1^{m_{ij}}$, $2^{m_{ij}}$	= Rectangle displacement factor (Davis and Taylor)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

M_s	=	Slip factor
N	=	ผลของการทดสอบ Standard Penetration (Oweis)
N'	=	ค่า N ที่ปรับแก้แล้ว
N_h	=	Correction factor สำหรับ finite layer (Poulos)
OCR	=	Over Consolidation Ratio
P	=	น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนเสาเข็ม (Poulos and Davis)
P_c	=	Preconsolidation pressure (El - Moursi et al.)
q	=	ความดันสุทธิตามฐานราก
RR	=	อัตราส่วนการอัดซ้ำ
R_A	=	อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่รอบนอกของเสาเข็ม
R_B	=	ค่าปรับแก้สำหรับความแข็งของชั้นแบกทอน
R_h	=	ค่าปรับแก้สำหรับระยะความลึกของ Rigid Base
R_k	=	ค่าปรับแก้สำหรับการยุบอัดตัวของเสาเข็ม
R_v	=	ค่าปรับแก้สำหรับอัตราส่วนผิวของ
r	=	ระยะห่างระหว่างแนวแกนของเสาเข็ม ไปยังจุดที่พิจารณา (Poulos and Davis)
S	=	ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม
S_u	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน
T	=	Time factor
t	=	เวลา
Δt	=	ช่วงเวลาคงที่ (Asaoka)
\bar{U}	=	Average degree of consolidation
Δu	=	ค่าความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น
u	=	ความดันน้ำในโพรงดิน

สัญลักษณ์ (ต่อ)

w_L	=	ขีดเหลว (Liquid Limit)
w_n	=	ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดิน
ρ	=	ค่าการหดตัว
ρ_c	=	ค่าการหดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ
ρ_{fd}	=	ค่าการหดตัวเนื่องจากดินและเสาเข็มใน Foundaing layer
ρ_i	=	ค่าการหดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก
ρ_j	=	การหดตัวของเสาเข็มชั้นข้างเคียง j
ρ_k	=	การหดตัวของเสาเข็มใด ๆ ที่พิจารณาในกลุ่มเสาเข็ม
$\Delta\rho_{ij}$	=	การหดตัวที่เพิ่มขึ้นของเสาเข็มชั้นที่สนใจ , i เนื่องจากเสาเข็มชั้น j
ρ_{oed}	=	ค่าการหดตัวที่ได้จากการทดลองด้วย Oedometer
ρ_{TF}	=	ค่าการหดตัวรวมของดินเหนียว
ρ_{ud}	=	ค่าการหดตัวของดินใน Underlying layer
β_1	=	ค่าความชื้น (Asaoka)
σ_1 , σ_3	=	หน่วยแรง แค้นหลักและหน่วยแรง แค้นรอง
$\bar{\sigma}_{vo}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้ง เนื่องจากน้ำหนักดินที่ทับถม
$\bar{\sigma}_{vm}$	=	หน่วยแรงทับถมสูงสุดในอดีต
$\bar{\sigma}_{vf}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้งสุดท้าย
σ	=	หน่วยแรงรวม (Total Stress)
σ_c	=	ความดันในเซลล์ (Cell Pressure)
$\Delta\sigma_2$	=	หน่วยแรง แค้นทางตั้งที่เพิ่มขึ้นที่กึ่งกลางของชั้นดิน
$\Delta\sigma_1$	=	หน่วยแรงหลักที่เพิ่มขึ้น
$\Delta\sigma_3$	=	หน่วยแรงรองที่เพิ่มขึ้น

สัญลักษณ์ (ต่อ)

E	= ความเคียว
α	= สัมประสิทธิ์ (Skempton)
α	= Interaction factor (Poulos and Davis)
α_E	= Interaction factor สำหรับเสาเข็มศาล
α_F	= Interaction factor สำหรับเสาเข็มเสียดทาน
α_{kj}	= Interaction factor ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเข็มต้น k และ j โดยใช้ geometrical parameter ของเข็มต้น j
α_r	= Interaction factor สำหรับเสาเข็มกลุ่มในระบบ Pile raft
μ	= ค่าปรับแก้ (Skempton)
μ_0, μ_1	= แฟคเตอร์ (Janbu et al.)
μ_d	= Fox's correction factor
μ_g	= Geological factor (Tomlinson)
ϕ	= มุมเสียดทานภายในของอนุภาค
γ_T	= ความหนาแน่นรวม (Total density)
τ_{oct}	= หน่วยแรงเค้น (Octahedral)
v_s	= อัตราส่วนปริมาตรของในสภาพไม่มีการระบายน้ำ
v'_s	= อัตราส่วนปริมาตรของในสภาพมีการระบายน้ำ
$\frac{CIUC}{}$	= การหากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ถูกอัดตัวด้วยน้ำแบบไอโซเทรอปิก มา ก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำ ในโพรง