

การหาค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแทนที่ดิน (ชนิดแฟรงกี) ในดินจังหวัดระยอง



นาย นริศ ช่างโกเวทย์

ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

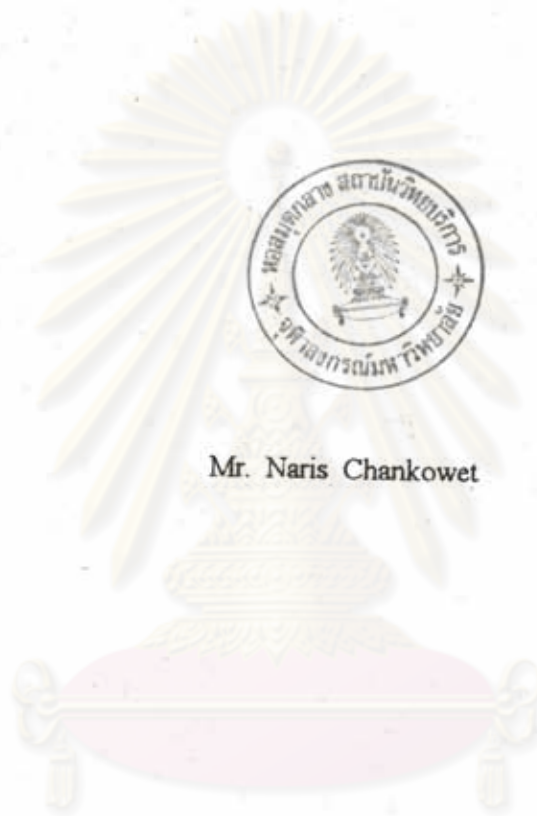
ISBN 974-582-945-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019229

11987506X

EVALUATION OF BEARING CAPACITY OF DISPLACEMENT CAISSONS
(FRANKI TYPE) IN RAYONG SOIL



Mr. Naris Chankowet


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of
Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
1993
ISBN 974-582-945-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแทนที่ดิน (ชนิดแฟรงก์)
 ในดินจังหวัดระยอง
 โดย นาย นริศ ชชาญโกเวทย์
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์

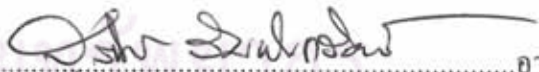


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวลักษ์ณ์)


อาจารย์ที่ปรึกษา
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)


กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)


กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ณะเจริญกิจ)

นริศ ชาญโกเวทย์ : การหาค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแทนที่ดิน (ชนิดแฟรงกี) ในดิน
จังหวัดระยอง (EVALUATION OF BEARING CAPACITY OF DISPLACEMENT CAISSONS
(FRANKI TYPE) IN RAYONG SOIL อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรจักร
สัมพันธ์รักษ์, 153 หน้า. ISBN 974-582-945-5



การวิจัยครั้งนี้เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมในการรับน้ำหนัก และหาวิธีการคำนวณกำลังรับน้ำหนัก
ของเสาเข็มแฟรงกี (Franki) ในเขตจังหวัดระยอง โดยทำการทดสอบเสาเข็มนี้ จำนวน 8 ต้น ในพื้นที่ 3
แห่ง ในจังหวัดระยองโดยติดตั้งเครื่องมือวัด strain (tell-tale rod) ในพื้นที่ 2 แห่ง

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จาก 1) การทดสอบเสาเข็มโดยวิธีการ maintain load 2)
ข้อมูลจากผลการเจาะสำรวจชั้นดิน 3) ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่าง เพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ
เพื่อหาการกระจายของเม็ดดิน การทดสอบหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ และการทดสอบ direct shear

จากการก่อสร้างเสาเข็มแฟรงกีในดินจังหวัดระยองนั้น พื้นที่ส่วนปลายของเสาเข็มที่ ขยายขึ้น
มีค่าประมาณ 1.8 เท่า จากค่าดังกล่าวพร้อมกับผลการทดสอบเสาเข็ม และข้อมูลจาก tell-tale rod
ทำให้ได้ กำลังรับแรงธรร และ กำลังรับแรงเสียดทานของเสาเข็ม

ผลการวิจัยในครั้งนี้สรุปได้ว่า ค่าตัวประกอบรับแรงธรร N_q ของเสาเข็มแฟรงกี ในดิน จัง
หวัดระยอง กับค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ' มีความสัมพันธ์กันดังนี้ $N_q = 5.713 \exp(0.0675\phi')$ และ
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, $K_{\tan\phi'_a}$ กับค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ' มีความสัมพันธ์กันดังนี้ $K_{\tan\phi'_a} =$
 $0.0392 \exp(0.1425\phi')$ และเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มเจาะ ในเขตจังหวัดระยองพบว่า ค่า N_q และ ค่า
 $K_{\tan\phi'_a}$ ของเสาเข็มแฟรงกี มีค่าสูงกว่าค่า N_q และ $K_{\tan\phi'_a}$ ของเสาเข็มเจาะ โดยที่กำลัง รับน้ำ
หนัก และค่าตัวประกอบรับแรงธรร N_q และ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $K_{\tan\phi'_a}$ ของเสาเข็ม
แฟรงกี ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดที่สำคัญอย่างยิ่งของเสาเข็มแฟรงกี คือขึ้นอยู่กับวิธีการก่อ
สร้างเป็นอย่างมาก ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญ ซึ่งในการทำเสาเข็มทั้ง 8 ต้นนี้ ใช้
บุคคลากรซึ่งชำนาญในการตอก และคุ้นเคยกับสภาพดินเช่นเดียวกันนี้ เป็นอย่างดี มาเป็นผู้ดำเนินการ
ทั้งหมด ผลที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ จึงจำเป็นต้องใช้ด้วยความ ระมัดระวัง

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา..... 2535

ลายมือชื่อนิติกร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

C115143 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD : DISPLACEMENT CAISSON (FRANKI TYPE) / PILE FOUNDATION / SHEAR STRENGTH / BEARING CAPACITY

NARIS CHANKOWET : EVALUATION OF BEARING CAPACITY OF DISPLACEMENT CAISSONS (FRANKI TYPE) IN RAYONG SOIL. THESIS
ADVISOR : ASSI.PROF.SURACHAT SAMBHANDHARAKSA, Ph.D. 153 pp.
ISBN 974-852-945-5

The purpose of this research work is to study the behavior and the suitable methods for estimating bearing capacity of "FRANKI PILES" by testing eight piles in three different locations in Rayong Province. Strain measurements, using tell-tale rod, was installed at two sites.

Data for research are based on:

- (1) testing the piles by Maintain Load Test method,
- (2) data from the result of soil boring including standard penetration test (SPT),
- (3) collecting the undisturbed soil for determinations of grain size distribution relative density and the effective angle of shearing resistance from consolidated drained direct shear test.

From the construction of the Franki pile in Rayong soil, the projected area of the expanded base is enlarged to about 1.8 times of the original base. This data is obtain from opening the surrounding soil of the Franki tested pile No.2 (6 meters long) and pulling out to observe. Estimated area of the expanded base together with the results of the pile test at failure and data from tell-tale rod lead to the finding of the ultimate bearing capacity, end bearing resistance, and skin friction resistance of these piles. From the end bearing, skin friction resistance and results from the SPT, and ϕ' from laboratory test, back analysis method is used for finding the bearing capacity factor, N_q and friction coefficient, $K_{\text{Stan}\phi'_a}$.

The results of this research show the relation of N_q as the function of ϕ' is:

$$N_q = 5.713 \exp(0.0675 \phi')$$

and the relation of $K_{\text{Stan}\phi'_a}$ as the function of ϕ' is:

$$K_{\text{Stan}\phi'_a} = 0.392 \exp(0.1425 \phi')$$

and the N_q' and $K_{\text{Stan}\phi'_a}$ derived from the Franki piles, are compared with those of the bored piles. The values from Franki piles are higher than those from bored piles.

The fact that the bearing capacity factor, N_q , and the friction coefficient, $K_{\text{Stan}\phi'_a}$ of Franki piles obtained from this research, depend largely on the method of construction the piles, especially the "expanded base", which required good experience and high skills in order to obtain the exact esimated size of the expanded base. (In this case the construction of eight Franki piles was done by a team of experienced personnels who have great skills in driving and are intimately acquainted with the similar type of soil). Therefore, the application of the finding of this research must be handled with care.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา..... 2535

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นที่สุด ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนวิชาความรู้ต่างๆตลอดจนได้ทุ่มเทเวลาส่วนตัวติดตามให้คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไข วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณ ของบิดา มารดา ครู และอาจารย์ ที่ได้ช่วยให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท KINSUN ประเทศไทย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ด้านข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่างๆในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท อินเทอร์เน็ตคอนซัลท์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ด้านข้อมูลการทดสอบเสาะเข้ม

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้อนุเคราะห์ในเรื่องเครื่องมือทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณประสงค์ ธาราไชย ที่ได้ให้โอกาสในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ เพื่อนๆ และผู้ร่วมงาน ที่ได้ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างดิน และจดข้อมูลระหว่างการทดลอง และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นริศ ชาญโกเวทย์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ฒ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ทัวไป.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ.....	3
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย.....	4
2. ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....	6
2.2.1 การอัดตัวของดินทรายใกล้ กับเสาเข็ม.....	6
2.2.2 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีการทางสถิตยศาสตร์.....	7
2.2.3 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยการทดสอบในสนาม.....	13
2.2.3.1 การทดสอบ Static Cone Penetration Test.....	13
2.2.3.2 การทดสอบ Standard Penetration Test.....	15

บทที่	หน้า
2.2.3.3 การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์จากค่า SPT.....	16
2.2.4 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	
จากการทดสอบเสาเข็ม.....	18
2.2.4.1 ทดสอบจนถึงจุดวิบัติ.....	18.
2.2.4.2 ทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติ.....	18
2.3 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม.....	19
2.3.1 วิธีการทดสอบ.....	19
2.3.2 การแปลความหมายผลการทดสอบ.....	20
2.3.3 การศึกษาน้ำหนักบรรทุกทุกวิบัติ.....	20
2.4 การแยกน้ำหนักที่ปลาย และที่ตัวเสาเข็ม.....	21
2.4.1 การวัดโดยตรง (Direct Measurement).....	21
2.4.2 การวัดโดยอ้อม (Indirect Measurement).....	21
2.4.3 การประเมินจาก Load Settlement Curves.....	22
3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	24
3.1 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม.....	24
3.2 ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	37
3.2.1 การเก็บตัวอย่างดินในการดำเนินการวิจัย.....	38
3.2.2 การทดสอบหาการกระจายของเม็ดดิน.....	38.
3.2.3 การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ค่าความ-	
-หนาแน่นค่าสุด และค่าความหนาแน่นมากสุด.....	39
3.2.4 การทดสอบ Direct Shear.....	39
3.3 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน.....	39
4 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการ และผลการวิจัย.....	46
4.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	46
4.2 การตอกเสาเข็ม Franki.....	48
4.2.1 ขั้นตอนวิธีการตอกทดลอง.....	48

บทที่	หน้า
4.2.2 สภาพภายหลังการตอก และหล่อเสาเข็ม Franki.....	49
4.3 การหาการกระจายตัวของเม็ดดิน.....	50
4.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Dr) ในห้องปฏิบัติการ.....	54
4.5 ผลการทดสอบ Direct Shear.....	54
4.6 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจากผลการทดสอบเสาเข็ม.....	66
4.7 การแยกค่าแรงเสียดทาน และค่ากำลังรับแรงธรร.....	68
4.8 การวิเคราะห์หาสูตร Empirical สำหรับประเมินค่าตัวประกอบ กำลังรับแรงธรร N_q ในรูปของค่า ϕ' สำหรับเสาเข็ม Franki ในดินจังหวัดระยอง.....	68
4.9 เงื่อนไขการนำค่า N_q ไปใช้ในการออกแบบ.....	90
4.10 การวิเคราะห์หาสูตร Empirical สำหรับประเมินค่าตัวประกอบ กำลังรับแรงเสียดทาน $K_s \tan \phi'_a$ ในรูปของค่ามุม ϕ'	90
5 สรุปผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ.....	100
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	101
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....	101
เอกสารอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม.....	107
ข. การหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธีของ De Beer.....	122
ค. ตัวอย่างการแยก friction โดยใช้ tell-tale rod และการแยก friction โดยวิธีของ Jain (1963).....	135
ง. ภาพถ่ายที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	147
ประวัติผู้เขียน.....	153

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าความลึกวิกฤติ โดย AUSTRALIAN CODE.....10
2.2	ระยะที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของ CONE.....13
3.1	แสดงรายละเอียดระดับความลึก และเครื่องมือที่ติดตั้งในเสาเข็ม.....25
3.2	สรุปตำแหน่งและชนิดของการทดสอบ จากตัวอย่างที่เก็บจากโครงการ พยุห คอนโดมิเนียม และโครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง.....27
4.1	ผลการทดสอบการจำแนกประเภทของดินตัวอย่าง โครงการ พยุห คอนโดมิเนียม และโครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง.....51
4.2	การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ของดินระยองโดยการทดสอบใน ห้อง ปฏิบัติการ โครงการ พยุหคอนโดมิเนียม และโครงการ โรงไฟฟ้าพลัง ความร้อนร่วม ระยอง.....55
4.3	แสดงการหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) โดยวิธีการต่างๆ โครงการ พยุหคอนโดมิเนียม และโครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง.....56
4.4	สรุปผลน้ำหนักบรทุกที่ใช้ในการทดลอง.....65
4.5	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรทุกที่จุดวิกฤติ และเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรทุก สูงสุด โดยวิธีการต่างๆ.....67
4.6	แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักบรทุกของเสาเข็ม.....69
4.7	การกระจายของน้ำหนักในตัวเสาเข็ม.....72
4.8	แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานของเสาเข็มที่ได้ โดยการวัดจาก tell-tale และจากวิธีการของ Jain & Kumar (1963).....74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	สภาพชั้นดินโดยทั่วไปในสถานที่ทำการทดสอบเสาเข็ม.....5
2.1	มุม ϕ ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการตอก และขยายฐานเสาเข็ม Franki.....7
2.2	การคำนวณกำลังรับแรงธรร ใช้พื้นที่ส่วนที่ขยายออกของเสาเข็ม Franki.....8
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ และ Z_c/d และมุม ϕ และ $K_s \tan \phi'_a$
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ และ N_q โดย Berezantzev et.al.,(1961).....10
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม ϕ และ N_q , De Beer (1974).....14
2.6	การหาความหนาแน่นสัมพัทธ์โดยวิธีการของ, Gibbs&Holtz (1957).....16.
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT กับ ความหนาแน่นสัมพัทธ์,Thornburn (1963).....17
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT กับ ความหนาแน่นสัมพัทธ์, Schultze&Menzenbach (1961).....18
2.9	แสดงวิธีการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (Ultimate Load) ตามวิธีซึ่งเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ.....23
3.1	ผังบริเวณแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน โครงการ พูน คอน โคมิเนียม อำเภอบ้านฉางจังหวัดระยอง.....28
ขยาย 3.1.1	แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ P-1 และ P-2 โครงการ พูน คอน โคมิเนียม.....29
3.2	ผังบริเวณแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ตำบลมาบข่า อำเภอเมือง จังหวัดระยอง.....30
ขยาย 3.2.1	แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ P-4 และ P-5 โครงการโรงไฟฟ้า พลังความร้อนร่วม.....31
3.3	ผังบริเวณแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน โครงการ ICI PTA Plant ตำบล มาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง.....32
ขยาย 3.3.1	แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ P-6,P-7 และ P-8,P-9 โครงการ ICI PTA Plant.....33
3.4	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างทดสอบ.....34
3.5	ค่าปรับแก้ Proving ring หมายเลข STS 15-151.....36
3.6	ผลการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT) BH-1,BH-2,BH-3 โครงการ พูน คอน โคมิเนียม.....41
3.7	ผลการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT) BH-2 โครงการ โรงไฟฟ้าฯ.....42

รูปที่	หน้า
3.8 ผลการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT) BH-9,BH-13 โครงการ โรงไฟฟ้า.....	43
3.9 ผลการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT) BH-7,BH-9 โครงการ โรงไฟฟ้า.....	44
3.10 ผลการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT) BH-1,BH-2,BH-13 โครงการ ICI PTA Plant.....	45
4.1 ขั้นตอนการตอก และหล่อเสาเข็ม Franki.....	47
4.2 แสดงการกระจายตัวของดินตัวอย่าง โครงการ พูน คอนโดมิเนียม.....	52
4.3 แสดงการกระจายตัวของดินตัวอย่าง โครงการโรงไฟฟ้า.....	53
4.5 (ก) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ พูน คอนโดมิเนียม.....	58
4.5 (ข) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ พูน คอนโดมิเนียม.....	58
4.5 (ค) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ พูน คอนโดมิเนียม.....	59
4.5 (ง) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ โรงไฟฟ้า.....	59
4.5 (จ) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ โรงไฟฟ้า.....	60
4.5 (ฉ) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ โรงไฟฟ้า.....	60
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม ϕ' กับค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ได้ จากห้องปฏิบัติการ.....	61
4.6.2 แสดงการหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์จากค่า N (SPT) โดยวิธีการต่างๆ.....	62
4.6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N (SPT) กับค่ามุม ϕ'	63
4.6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D_r กับค่ามุม ϕ'	64
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยวิธีการอื่นๆ กับค่าน้ำหนักบรรทุกจนถึงวิบัติ.....	73
4.8.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบรับแรงหาร N_q และมุม ϕ'	76
4.8.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบรับแรงหาร N_q และมุม ϕ' เปรียบเทียบกับของผู้วิจัยอื่นๆ.....	77
4.9 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก เสาเข็ม Franki,P-4 โครงการ โรงไฟฟ้า.....	78
4.10 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก เสาเข็ม Franki,P-5 โครงการ โรงไฟฟ้า.....	79

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก เสาเข็ม Franki,P-6 โครงการ ICI PTA Plant.....	80
4.12 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก เสาเข็ม Franki,P-7 โครงการ ICI PTA Plant.....	81
4.13 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก เสาเข็ม Franki,P-8 โครงการ ICI PTA Plant.....	82
4.14 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก เสาเข็ม Franki,P-9 โครงการ ICI PTA Plant.....	83
4.15 การกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % น้ำหนักที่จุดวิบัติ เสาเข็ม P-9 โครงการ ICI PTA Plant.....	84
4.16 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % น้ำหนักที่จุดวิบัติ เสาเข็ม P-8 โครงการ ICI PTA Plant.....	85
4.17 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % น้ำหนักที่จุดวิบัติ เสาเข็ม P-7 โครงการ ICI PTA Plant.....	86
4.18 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % น้ำหนักที่จุดวิบัติ เสาเข็ม P-6 โครงการ ICI PTA Plant.....	87
4.19 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % น้ำหนักที่จุดวิบัติ เสาเข็ม P-5 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง.....	88
4.20 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % น้ำหนักที่จุดวิบัติ เสาเข็ม P-4 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง.....	89
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $K_s \tan \phi'_a$ และมุม ϕ'	90
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $K_s \tan \phi'_a$ และมุม ϕ' เปรียบเทียบกับของ Meyerhof (1976).....	91
4.23 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-1 โครงการ พยุห คอนโดมิเนียม.....	92
4.24 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-2 โครงการ พยุห คอนโดมิเนียม.....	93
4.25 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-4 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง.....	94

รูปที่	หน้า
4.26	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-5 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา.....94
4.27	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-6 โครงการ ICI PTA Plant.....95
4.28	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-7 โครงการ ICI PTA Plant.....95
4.29	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-8 โครงการ ICI PTA Plant.....96
4.30	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็ม Franki ,P-9 โครงการ ICI PTA Plant.....96
4.31	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็มเจาะ ,T-1 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา..... 97
4.32	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็มเจาะ ,T-2 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา.....97
4.33	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็มเจาะ ,T-3 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา..... 98
4.34	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็มเจาะ ,T-4 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา..... 98
4.35	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็มเจาะ ,T-5 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา..... 99
4.36	แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีการของ Chin (1970) เสาเข็มเจาะ ,T-6 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยะเวลา..... 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์

A_p	พื้นที่หน้าตัดที่ปลายเสาเข็ม
A_s	พื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม
d	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม
E_p	ค่าโมดูลัสของเสาเข็ม
f_s	หน่วยแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม
l	ความยาวของเสาเข็ม
L	ความยาวของเสาเข็ม
N	ค่าทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน
N_q	ค่าตัวประกอบรับแรงธร
P	น้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม
c	เส้นรอบรูปประสิทธิผลของเสาเข็ม
Q_{ult}	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม
Q_e	แรงดันที่ปลายเสาเข็ม
Q_s	แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม
σ'_v	หน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยในแนวตั้งของดินด้านข้างเสาเข็ม
σ'_{vp}	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งของดินที่ปลายเสาเข็ม
Z_c	ค่าความลึกวิกฤติ
$K_s \tan \phi'_a$	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม
γ	หน่วยน้ำหนักของดิน
ϕ'_a	มุมเสียดทานภายในระหว่างดินกับเสาเข็ม
ϕ	มุมเสียดทานภายใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย