ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และราคา ของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

นายกมล ไกรระวี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-938-4

013513

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Relationship between Capacity and Cost of Prestressed Concrete Pile

Mr. Kamol Krairavee

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

1985

ISBN 974-564-938-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกและราคาของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
โดย	นายกมล ไกรระวี
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

.....กรรมการ
(นายสุวรรณ แตงแก้วฟ้า)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และราคาของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

ชื่อนิสิต นายกมล ไกรระวี

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ราคา และ น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดตอก หน้าตัดรูปตัวไอ หน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน และหน้าตัดกลมกลวง ที่ใช้งานในบริเวณกรุงเทพฯ การวิจัยได้อาศัยวิธีการทางสถิติเข้าช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับเลือก ขนาด รูปร่าง และจำนวนเสาเข็มที่เหมาะสมในการออกแบบฐานราก

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ข้อมูลผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกตามแนวแกน ข้อมูลผลการเจาะสำรวจคุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม และข้อมูลราคาขายเสาเข็ม ข้อมูลที่รวบรวมขึ้นนี้ใช้สำหรับหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก และราคาขายของเสาเข็มหน้าตัดต่าง ๆ ที่มีความยาวเท่ากัน วิธีวิเคราะห์ได้ใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงเข้ามาช่วย เพื่อให้ได้ค่าซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลได้

ผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

น้ำหนักบรรทุกและราคาเสาเข็มที่มีความยาวเท่ากันจะมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งสามารถแทนด้วยสมการเส้นตรงได้ ผลปรากฏว่าเมื่อเสาเข็มมีขนาดหน้าตัดเพิ่มใหญ่ขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของราคาเสาเข็มจะสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก ดังนั้น การใช้เสาเข็มที่มีขนาดหน้าตัดเล็ก จะมีราคาต่อตันของน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่าการใช้เสาเข็มที่มีขนาดหน้าตัดใหญ่

ที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากัน เสาเข็มหน้าตัดรูปตัวไอ ขนาด 0.22 x 0.22 ถึง 0.30 x 0.30 จะมีราคาต่ำกว่าเสาเข็มกลมกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 ถึง 0.30 เสาเข็มหน้าตัดรูปตัวไอขนาด 0.35 x 0.35 และ 0.40 x 0.40 จะมีราคาสูงกว่าเสาเข็มกลมกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35, 0.40 และ 0.45 ส่วนเสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน จะมีราคาสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงโอกาสที่จะเกิดความเสียหายนอกเหนือจากการวิบัติ เนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในแนวดิ่งเท่านั้น อาทิเช่น ผลของการทรุดตัว ความแน่นอนของสภาพเสาเข็มภายหลังการตอก ตลอดจนความเสียหายที่เกิดขึ้นในขณะขนส่งหรือขณะตอก ซึ่งมีผลเนื่องมาจากรูปทรงทางเรขาคณิตที่แตกต่างกันโดยที่ค่า Section Modulus จะเป็นตัวกำหนดแรงเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกและการขนส่ง

การเลือกใช้จำนวนเสาเข็มอย่างเหมาะสมจะมีผลต่อน้ำหนักบรรทุก และราคาของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม โดยผลการวิจัยได้เสนอกราฟสัมพันธ์แสดงจำนวนเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับฐานรากที่รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยประมาณตั้งแต่ 50 ตัน ถึง 500 ตัน และกราฟสัมพันธ์แสดงรูปร่างหน้าตัดและขนาดของเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับฐานรากเสาเข็มกลุ่มจำนวนตั้งแต่ 2 ต้น จนถึง 9 ต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นประกอบการออกแบบฐานราก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Relationship between Capacity and Cost of Prestressed Concrete Pile

Name Mr. Kamol Krairavee

Thesis Advisor Associate Professor Dr. Boonsom Lerdhirunwong

Thesis Co-Advisor Professor Dr. Direk Lavansiri

Department Civil Engineering

Academic Year 1985

ABSTRACT

Statistical decision theory is used to analyse the relationship between cost and capacity of prestressed concrete piles of I-section, solid square, circular hollow tubing forms (spun pile) in use in Bangkok area. The relation obtained is utilized to select suitable quantity, size and form of prestressed concrete piles in foundation design.

Linear regression analysis is used to predict the average cost and capacity of piles of same length from the pile load test result, soil profiles and pile cost data.

Results of the analysis can be boiled down into:

Loading capacity and cost of piles of equal lengths relates to pile diameter which can be replaced by linear equation; which replacement in case of increasing pile diameter reflects improportionate increase of prices more than which of loading capacity; in other word using small cross-sectioned piles affects lower price ceiling per tonnage of loading capacity than which of larger cross-sectioned piles.

At equal level of loading capacity prices of I-Section piles of 0.22 x 0.22 to 0.30 x 0.30 shall be less than which of Spun piles of 0.25 to 0.30 diameter; while which of I-Section piles of 0.35 x 0.35 and 0.40 x 0.40 sizes higher than which of Spun piles of 0.35 and 0.40 and 0.45 sizes; and while the highest prices of all are which of the solid square pilings. Anyhow this research did not take into account any possible damages other than which of breakages in bearing loads laying vertically downward on ends of pile axis, such as which resulted from settlement, stability of piles after having been driven to batteries, inclusive of fractures caused in transit or by impact of the drop-weights which may also be collectively due to differences in geometric formations of the piles as its section modulus value shall be determinator for the degree of stresses thus incurred by either impact or the crutching of transportation.

To obtain pile group design that can resist all possible load combinations at the lowest possible cost, this analysis presents graph showing suitable number of piles that can resist allowable load 50 to 500 tons, and which showing suitable size and section of pile for the pile group of 2 to 9 piles, that can be used as a guide line for the pile foundation design purpose.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลาตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ คุณสุวรรณ แตงแก้วฟ้า คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจแก้และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ อันทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด บริษัท อินเตอร์คอนซัลท์ จำกัด บริษัท ซอยเทสติ้งสยาม จำกัด บริษัท นครหลวงวัสดุก่อสร้าง และคอนกรีตอัดแรง จำกัด และบริษัทผลิตเสาเข็มอื่น ๆ ซึ่งได้กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุด ผู้เขียนปรารถนาที่จะแสดงความรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุน และกำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาในระดับนี้

กมล ไกรระวี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

รายการตารางประกอบ ..... ฐ

รายการรูปประกอบ ..... ฒ

สัญญลักษณ์ ..... ถ

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย 2

1.5 แหล่งที่มาของข้อมูล 3

2. ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต

2.1 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile load test) 4

2.2 ข้อกำหนดสำหรับจุดวิบัติของเสาเข็มเดี่ยว (Failure Criteria) 5

2.3 การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากคุณสมบัติของดิน 7

2.3.1 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยวในดินเหนียว 7

2.3.2 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยวในชั้นทราย 10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทที่

2.4 ฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 14

2.4.1 น้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 14

2.4.2 ขนาดของหมวกเสาเข็ม (Pile cap) 16

2.5 การออกแบบเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง 22

2.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเสาเข็ม 23

2.5.2 ข้อกำหนดในการออกแบบเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง 25

2.5.2.1 ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต 25

2.5.2.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมตามยาว.....27

2.6 หลักสถิติที่ใช้ในการวิจัย 28

2.6.1 รูปแบบเชิงเส้นตรงของการถดถอยแบบธรรมดา 28

(Simple linear regression) .....

2.6.2 การประมาณค่า พารามิเตอร์ a,b และ c 29

2.6.3 การหาคุณภาพของเส้นถดถอยแบบธรรมดา 29

3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 31

3.1 ข้อมูลผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก

ในบริเวณกรุงเทพฯ 32

3.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจคุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม 41

3.3 ข้อมูลราคาเสาเข็ม 43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่

4. ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์และผลการวิจัย 47
4.1 น้ำหนักบรรทุกวิบัติและราคาเสาเข็ม 47
4.1.1 น้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็ม 48
4.1.2 ราคาเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง 53
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับน้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็ม 56
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีหน้าตัดชนิดเดียวกัน 56
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีหน้าตัดต่างชนิดกัน 59
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 61
4.3.1 การกำหนดขนาดของฐานรากเสาเข็มเพื่อใช้ประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกและราคา 61
4.3.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและราคาของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 65
4.3.2.1 การเลือกจำนวนเสาเข็มที่เหมาะสม 65
4.3.2.2 การเลือกขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม 68
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 73
5.1 ผลการวิจัย 73
5.2 ขีดจำกัดของผลการวิจัย 76
5.3 ข้อเสนอแนะ 77

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง 78

ภาคผนวก ก. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะทรุดตัวของเสาเข็มและการประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติด้วยวิธีการของ Mazurkiewicz, 1972 80

ข. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติ โดยใช้ Statics pile formula และข้อมูลผลการเจาะสำรวจคุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม 125

ค. การออกแบบเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดรูปตัวไอสี่เหลี่ยมตัน และกลมกลวง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.22 เมตร จนถึง 0.60 เมตร ที่ความยาวเสาเข็มเท่ากับ 23.0 เมตร ยกเว้นเสาเข็มกลมกลวงมีความยาวเท่ากับ 11.50 เมตร (สองท่อนต่อเชื่อม) 156

ง. น้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็มเฉลี่ยที่มีความยาว 23.0 เมตร 163

จ. น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย ราคา และขนาดของฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่มีจำนวนเสาเข็มตั้งแต่ 2 ต้น จนถึง 9 ต้น 167

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่

2.1 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม Feld,J (1943) 17

2.2 ความเค้นต่าง ๆ ในคอนกรีตสำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ 26

2.3 ความเค้นต่าง ๆ ในคอนกรีตของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จแบบแรงเหวี่ยง 27

3.1 รายละเอียดของข้อมูลผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม 34

3.2 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบและประมาณการ โดยวิธีของ Mazurkiewicz, (1972) 39

3.3 น้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็มคำนวณจาก Statics pile formula เลือกเฉพาะเสาเข็มที่มีการทดสอบจนถึงจุดวิบัติและมีข้อมูลการเจาะสำรวจ 42

3.4 ราคาเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง 45

4.1 น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเฉลี่ยที่ความยาว 23.0 เมตร 50

4.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (P_u) และราคาเสาเข็ม (C_p) ที่ได้จากสมการ (4.1) ถึง (4.6) 55

4.3 ขนาดความหนาของหมวกเสาเข็ม (Pile cap depth) 61

4.4 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม (Feld,1943) 63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่

4.5 น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยและราคาฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ……64

4.6 สมการถดถอยแบบเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (P_g) กับราคา (C_f) ของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ……65

4.7 ค่าราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกสูงสุด และต่ำสุดของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ……66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่

2.1 วิธีหาน้ำหนักบรรทุกวิบัติจากข้อมูลผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม เสนอ โดย Mazurkiewicz, B.K. (1972) 6

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ Su สำหรับเสาเข็มตอกที่ เสนอ โดย Tomlinson (1970) และ Holmberg (1970) 9

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N(SPT) ของดินเหนียว เสนอ โดย Sower (1961) 11

2.4 ก. แฟคเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ค่า N ในดิน Cohesionless soil เนื่องจากอิทธิพลของความกดดันประสิทธิผลจากน้ำหนักดินชั้นบนที่ เสนอ โดย Peck Hanson และ Thornburn (1974) 13

ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง N(SPT) กับมุม $\bar{\phi}$,N_q และ N_γ ที่เสนอโดย Peck,Hanson และ Thornburn (1974) 13

2.5 แสดงการวิบัติของเสาเข็มกลุ่มแบบกล่อง (Block failure) 15

2.6 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มในดินเหนียว (Sowers et al, 1961) 18

2.7 ความสัมพันธ์ของเสาเข็มกลุ่มแบบอิสระ (Freestanding group) จำนวน 2^2 ถึง 9^2 ความยาวเสาเข็มตั้งแต่ 12d ถึง 48d (from model tests after de Mello,1969) 18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่

2.8 ขนาดของหมวกเสาเข็ม (Whittle R.T, and D. Beattie, 1972) 20

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาฐานรากเสาเข็มกลุ่มกับขนาดความลึกของหมวกเสาเข็ม (Whittle R.T, and D. Beattie, 1972) 21

2.10 ปริมาณเหล็กปลอก 24

3.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็มระหว่างค่าที่วัดได้จากการทดสอบกับค่าที่ประมาณการตามวิธีของ Mazurkiewicz,1972 40

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกวิบัติที่หาได้โดยการคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจกับการทดสอบเสาเข็ม 43

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาของเสาเข็ม กับ ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต 46

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางกับน้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็มหน้าตัดรูปไอสี่เหลี่ยมตัน และกลมกลวง 52

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางกับราคาขายเสาเข็มรวมค่าตอก ของเสาเข็มหน้าตัดรูปไอสี่เหลี่ยมตัน และกลมกลวง 54

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม,d กับค่า P_u',C_p' และ C_u' :P_u' 57

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก (P_u') กับอัตราการเพิ่มขึ้นของราคา (C_p') 58

รายการรูปประกอบ

รูปที่

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม (P_u) กับราคาเสาเข็มต่อหน่วยของน้ำหนักบรรทุก ($C_p : P_u$) 60

4.6 ลักษณะการจัดเรียงของเสาเข็มกลุ่ม และขนาดหน้าตัดของหมวกเสาเข็ม (Pile cap) (Whittle R.T. and D. Beattie, 1972) 62

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_g กับ $C_f : P_g$ ของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 67

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มจำนวน 2 ต้น 69

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มจำนวน 3 ต้น 69

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มจำนวน 4 ต้น 70

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มจำนวน 5 ต้น 70

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มจำนวน 6 ต้น 71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานราก เสาเข็มจำนวน 7 ต้น 71

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานราก เสาเข็มจำนวน 8 ต้น 72

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (P_g) กับราคาต่อหน่วยน้ำหนักบรรทุกของฐานราก เสาเข็มจำนวน 9 ต้น 72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญญลักษณ์

A_p	=	พื้นที่หน้าตัดที่ปลาย เสา เข็ม
A_s	=	พื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็ม
a	=	ค่า intercept ของ Y เมื่อ X = 0 ในสมการถดถอย
b	=	ค่าความชันของ เส้นตรงที่ผ่านจุด $\overline{Y}$
C	=	หน่วยแรงยึด เกาะของดิน
C_c	=	ราคาของหมวก เสา เข็ม
C_f	=	ราคาของฐานราก เสา เข็มกลุ่ม
C_p	=	ราคา เสา เข็ม เดี่ยว
C'_p	=	อัตราการ เพิ่มขึ้นของค่า C_p
c	=	ค่าความชันของ เส้นตรงที่ผานจุด 0
c'	≐	จุดศูนย์กลางความถ่วงของหน้าตัด เสา เข็ม
D	=	ความลึกของหมวก เสา เข็ม
d	=	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของ เสา เข็ม
f'_c	=	ความ เค้นอัดสูงสุดของคอนกรีต
f'_{ci}	=	f'_c สูงสุดก่อนจะตัดหรือปล่อยลวด เหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง
f_{ci}	=	ความ เค้นอัดที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดขณะตัดหรือปล่อยลวด เหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง
f_{ca}	=	ความ เค้นอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดตลอด เวลาที่รับน้ำหนัก
f_{ta}	=	ความ เค้นดึงที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดขณะขนส่งหรือยกขึ้นตอก
f_e	=	ความ เค้นอัดใน เนื้อคอนกรีตก่อนใช้งาน หลังจากหักค่าการ เสื่อมสูญการอัดแรงแล้ว
f_s	=	หน่วยแรง เสียดทานที่ผิวของ เสา เข็ม
f'_s	=	ความ เค้นดึงสูงสุดที่ลวด เหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง
G	=	แรง เค้นที่ เกิดขึ้น เนื่องจากการกระแทก และการขนส่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I_x = Moment of inertia X - axis

I_y = Moment of inertia Y - axis

K_o = สัมประสิทธิความกดดันด้านข้างชนิด at rest

K_s = สัมประสิทธิความกดดันด้านข้างของดิน

l_n = ความหนาของชั้นดิน

M = โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักคงที่

M' = โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักคงที่บวก 50% ที่เกิดจากแรงกระแทก

N = ค่าทดสอบแรงทะลุมาตรฐาน (Standard Penetration Test)

N_c , N_q , N_γ = Bearing Capacity Factor

n = จำนวนเสาเข็มในฐานรากเสาเข็มกลุ่ม

P_a = น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มเดี่ยว

P_g = น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มกลุ่ม

P_u = น้ำหนักบรรทุกวิบัติเฉลี่ย

P'_u = อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า P_u

Q_p = แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

Q_s = แรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม

Q_{ult} = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็ม

Q_t = น้ำหนักบรรทุกวิบัติวัดได้จากการทดสอบ

Q_{maz} = น้ำหนักบรรทุกวิบัติประมาณการจากเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีของ Mazurkiewicz (1972)

Q_c = น้ำหนักบรรทุกวิบัติคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

q_p = หน่วยแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

q_u = ค่าหน่วยแรงที่ได้จากการทดสอบแบบ UC (Unconfined compression test)

R^2 = คุณภาพของเส้นกดถอย

S_u = ค่าหน่วยแรงเฉือนของดินแบบอันเดรน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

S_x	=	Section modulus รอบแกน X
S_y	=	Section modulus รอบแกน Y
s	=	Shape factor
UC	=	การหากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบอิสระด้านข้าง (Unconfined Compression test)
UU	=	การหากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพอันเดรน (Unconsolidated Undrained Triaxial compression test)
V_c	=	ปริมาตรของหมวกเสาเข็ม
W	=	น้ำหนักเสาเข็ม
α	=	ค่าตัวประกอบการยึดเกาะ
β	=	Shape factor ของฐานรากตื้น
γ	=	หน่วยน้ำหนักของดิน
	=	ค่าความเค้นประสิทธิผลเนื่องจากน้ำหนักดินชั้นบน
$\bar{\sigma}_v$	=	ค่าเฉลี่ยความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งของดินตลอดความยาวของเสาเข็ม
$\bar{\sigma}_{vb}$	=	ความเค้นประสิทธิผลของดินที่ระดับปลายเสาเข็มในชั้นดินทรายปนดินเหนียว
ϕ	=	มุมเสียดทานภายในของดิน
	=	มุมเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย