การคาดคะเนค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ด้วยหลักการสถิติ

นายสุวิชัย เมธปรีชากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-711-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16893086

STATISTICAL ESTIMATION OF RELATIVE DENSITY

Mr.Suwichai Methpreechakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-711-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคาดคะเนค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ด้วยหลักการสถิติ
โดย	นายสุวิชัย เมธปรีชากุล
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุวิชัย เมธปรีชากุล : การคาดคะเนค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ด้วยหลักการสถิติ
(STATISTICAL ESTIMATION OF RELATIVE DENSITY)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์, 76 หน้า.
ISBN 974-633-711-4

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของทราย โดยพิจารณาผลกระทบของการกระจายของขนาดของเม็ดทรายโดยใช้ตัวอย่างทรายจากริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสิงห์บุรี ที่มีรูปร่างลักษณะค่อนข้างกลม ทำการทดสอบค่าความหนาแน่นต่ำสุดและความหนาแน่นสูงสุดของทรายตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2049 โดยเริ่มต้นจากการใช้ปริมาณ Fine Sand ,Medium Sand และ Coarse Sand ร้อยละ 10 , 10 และ 80 ตามลำดับ จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณส่วนผสมของทราย โดยเพิ่มส่วนผสมของ Medium Sand ครั้งละ 10 % ในขณะเดียวกันส่วนผสมของ Coarse Sand จะลดลงทีละ 10 % โดยน้ำหนัก ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณส่วนผสมของทรายจนกระทั่งมีส่วนผสมของ Medium Sand 80 % และส่วนผสมของ Coarse Sand 10 % โดยน้ำหนัก จากนั้นเพิ่มปริมาณ Fine Sand เป็น 20 % โดยน้ำหนัก แล้วทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณส่วนผสมของ Medium Sand และ Coarse Sand ในลักษณะดังกล่าว จากนั้นทำการเพิ่มปริมาณ Fine Sand ในลักษณะดังกล่าวนี้จนกระทั่งมีปริมาณ Fine Sand 80 % โดยน้ำหนัก รวมตัวอย่างทรายที่ทำการทดสอบทั้งสิ้น 36 ชุด

ผลการทดสอบพบว่าการกระจายของขนาดของเม็ดทรายมีผลต่อความหนาแน่นของเม็ดทราย กล่าวคือหากมีปริมาณของ Coarse Sand เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นต่ำสุดและความหนาแน่นสูงสุดของทรายเพิ่มขึ้นด้วย และส่วนผสมที่ทำให้ทรายมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดคือส่วนผสมของ Coarse Sand 60 % , Medium Sand 10 % และ Fine Sand 30 % โดยจะให้ค่าความหนาแน่นของทรายเท่ากับ 2.111 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมปฐพี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C515340 CIVIL ENGINEERING
: MAJOR
KEY WORD: RELATIVE DENSITY / STATISTIC

SUWICHAI METHPREECHAKUL: STATISTICAL ESTIMATION OF RELATIVE DENSITY.
THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. SURAPHOL CHIVALUK, Ph.D. 76 PP. ISBN 974-633-711-4

This research studies the effecting factors of the relative density of sand and also considers the effects of particle size distribution. The method of minimum and maximum density testing follows the ASTM D 2049 standard that tests on sand with near spherical particle. The disturbed sand is collected form river bank of the Choa Phaya , Singburi province. The method of this study is as follow: Firstly, the fine sand is kept at ten percent by weight ,then mixed with coarse sand and medium sand by gradually increase or decrease amount of coarse sand and medium sand ten percent by weight each time. After that the process involves the increase of fine sand to be twenty percent by weight and the fine sand with medium and coarse sand using the previous outlined procedure remixing. Repeating this step until the amount of fine sand is eighty percent by weight. The total amount of sample of testing is thirty six sample.

The results of this research show that the particle size distribution has a pronounced effect on the density of sand. When the amount of coarse sand increase the minimum and maximum density also increase. The mixture that give the maximum density consists of coarse sand 60 %, medium sand 10 % and fine sand 30 % by weight , with the maximum density of 2.111 ton per cubic meter

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมปฐพี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางทฤษฎี หลักการและวิธีการในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งในขณะทำการทดลอง และในการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นอย่างดียิ่ง รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มอย่างสมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

สุวิชัย เมธบรีชากุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญรูป.....ญ

สัญลักษณ์.....ฏ

บทที่ 1. บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....2

บทที่ 2. ทฤษฎีและทบทวนวรรณคดีที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ทฤษฎีทางสถิติ.....4

2.2 การหาค่า Relative Density.....7

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า Maximum Density และ Minimum Density 10

บทที่ 3 วิธีและรายงานผลการวิจัย.....20

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....20

3.2 วิธการทดลอง.....22

3.3 สรุปผลการทดลอง.....35

3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....35

บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....46

หน้า

4.1 สรุปผล....46
4.2 ข้อเสนอแนะ....47

รายการอ้างอิง....48
ภาคผนวก....50
ก. ผลการ Calibrate Vibrating Table....50
ข. ผลการทดสอบค่า Minimum Density และ Minimum Density....55
ค. การหาขนาดของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน....74

ประวัติผู้เขียน....76

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Relative Density , Penetration Resistance และ ϕ.....9
ตารางที่ 2.2 Density and Gradational Characteristic of Sample.....14
ตารางที่ 2.3 Index Properties of Glass Beads and Sands.....15
ตารางที่ 2.4 Typical Values of $\phi_m$and ϕ_{cv} for Granular Soils.....18
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงขนาดของช่องเปิดตะแกรงและการจำแนกชนิดของดิน.....22
ตารางที่ 3.2 ร้อยละของอัตราส่วนผสมของทรายที่ใช้ในการทดลอง.....23
ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Density, ความถี่ (Frequency) และเวลา (time) 35
ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบค่า Minimum Density และ Maximum Density.....36
ตารางที่ 3.5 สมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิจัย.....42
ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ.....43
ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ค่า Density จากข้อมูลทางสถิติ.....44
ตารางที่ ก.1 สรุปผลการทดสอบค่า Minimum Density และ Maximum Density เมื่อแปรเปลี่ยน ความถี่ (Frequency) และเวลา (Time).....51
ตารางที่ ข.1 สรุปผลการทดสอบค่า Minimum Density และ Maximum Density เมื่อแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของ Coarse Sand , Medium Sand และ Fine Sand.....56

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Angle of Friction และ Relative Density.....9

รูปที่ 2.2 ลักษณะการจัดเรียงตัวแบบ (a) Simple Cubical Packing (b) Pyramidal Cubical Packing.....10

รูปที่ 2.3 Particle Size Distribution ของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ.....13

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\gamma_{d\ max}$ กับ D_{60}.....13

รูปที่ 2.5 Empirical Relationship between Maximum and Minimum Densities versus Coefficient of Uniformity.....16

รูปที่ 2.6 Grain Size Curves.....16

รูปที่ 2.7 Effect of Particle Size on Minimum and Maximum Void Ratios.....17

รูปที่ 2.8 Effect of Particle Shape on Axial Strain at Maximum Strength.....17

รูปที่ 2.9 Components of Shear Strength in Granular Soil.....19

รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างทราย.....21

รูปที่ 3.2 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 10 %,Medium Sand 10-80 % และ Coarse Sand 10-80 % โดยน้ำหนัก.....24

รูปที่ 3.3 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 20 %,Medium Sand 10-70 % และ Coarse Sand 10-70 % โดยน้ำหนัก.....25

รูปที่ 3.4 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 30 %,Medium Sand 10-60 % และ Coarse Sand 10-60 % โดยน้ำหนัก.....26

รูปที่ 3.5 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 40 %,Medium Sand 10-50 % และ Coarse Sand 10-50 % โดยน้ำหนัก.....27

รูปที่ 3.6 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 50 %,Medium Sand 10-40 % และ Coarse Sand 10-40 % โดยน้ำหนัก.....28

รูปที่ 3.7 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 60 %,Medium Sand 10-30 % และ Coarse Sand 10-30 % โดยน้ำหนัก.....29

รูปที่ 3.8 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 70 %,Medium Sand 10-20 % และ Coarse Sand 10-20 % โดยน้ำหนัก.....30

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 10 %,Medium Sand 10 % และ Coarse Sand 10 % โดยน้ำหนัก....31
รูปที่ 3.10 Details of Mold....33
รูปที่ 3.11 Assembly of Apparatus (with 0.1 ft^3 Mold Assembly)....33
รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 10 % โดยน้ำหนัก....37
รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 20 % โดยน้ำหนัก....38
รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 30 % โดยน้ำหนัก....39
รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 40 % โดยน้ำหนัก....39
รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 50 % โดยน้ำหนัก....40
รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 60 % โดยน้ำหนัก....40
รูปที่ 3.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Density สูงที่สุดที่คำนวณได้ในแต่ละชุดตัวอย่างที่มีส่วนผสม Fine Sand 10 ถึง 60 %....45
รูปที่ ค.1 แสดงการจัดเรียงตัวของเม็ดดินในสภาพหลวมที่สุด....74
รูปที่ ค.2 แสดงการจัดเรียงตัวของเม็ดดินในสภาพแน่นที่สุด....75

สัญลักษณ์

γ_{min} = ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดินเมื่อมวลดินมีความหนาแน่นน้อยที่สุด

$\gamma_{d\ min}$ = ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งของมวลดินเมื่อมวลดินมีความหนาแน่นน้อยที่สุด

γ_{max} = ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดินเมื่อมวลดินมีความหนาแน่นสูงที่สุด

$\gamma_{d\ max}$ = ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งของมวลดินเมื่อมวลดินมีความหนาแน่นสูงที่สุด

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ย

$\sum X_i$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

Y_i = ตัวแปรตาม

X_i = ตัวแปรอิสระ

β_o , a = ส่วนตัดแกน Y

β_1 , b = สัมประสิทธิ์การถดถอย

$\sum(Y_i - \bar{Y}_i)^2$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

e_i = ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

r = Correlation Coefficient

D_r = ความหนาแน่นสัมพัทธ์

e = ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Void Ratio) ในมวลดิน

e_{min} = ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Void Ratio) ในมวลดินที่ค่าน้อยที่สุด

e_{max} = ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Void Ratio) ในมวลดินที่ค่ามากที่สุด

ϕ = Angle of Friction

ϕ_m = Angle of Friction ของดินที่ Peak Strength

ϕ_{cv} = Angle of Sliding Friction ระหว่างผิวของเม็ดดิน

β = ผลกระทบของ Interlocking

q_c = Static Cone Resistance

D_{60} = Effective Diameter

C_u = Coefficient of Uniformity

$\Delta\gamma_1, \Delta\gamma_4$ = ค่าปรับแก้สำหรับ Particle Size

$\Delta\gamma_2, \Delta\gamma_5$ = ค่าปรับแก้สำหรับ Gradation

สัญลักษณ์ (ต่อ)

$\Delta\gamma_3, \Delta\gamma_6$ = ค่าปรับแก้สำหรับ Particle Shape

S = Sphericity

W_s = น้ำหนักของทรายแห้ง

V_c = ปริมาตรของ Mold

R_f = Final Dial Gage Reading on the Surcharge Base Plate after Completion of the Vibration Period

R_i = Initial Dial Gage Reading

A = Cross-sectional Area