

การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินสำหรับฐานรากดินจากการทดสอบ  
ในห้องปฏิบัติการของกำลังรับแรงเฉือน มุมเสียดทานภายในและตัวประกอบ  
ความสามารถรับน้ำหนักของดิน



นางสาวปทุมทิพย์ เข้มศักดิ์มีทรัพย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974 - 566 - 498 - 7

012267

I 16078159

THE EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY OF SOILS FOR SHALLOW  
FOUNDATION FROM THE LABORATORY TESTS OF SHEARING STRENGTH,

$\phi$  - PARAMETER AND BEARING CAPACITY FACTORS



Miss Patumtip Permsakmesub

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ISBN 974 - 566 - 498 - 7

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักรับน้ำหนักของดินสำหรับฐานรากต้น  
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการของกำลังรับแรงเฉือน มุมเสียดทาน  
ภายในและตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดิน

โดย      นางสาวปทุมทิพย์    เพิ่มศักดิ์มิตรทรัพย์

ภาควิชา      วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล    จิวาสักขณ์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร    รัชวรชัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร    เต็งอำนวยการ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ประจิต    จิระปภากา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญลิม    เลิศศิริวงค์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล    จิวาสักขณ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินสำหรับฐานรากตื้น  
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ของกำลังรับแรงเฉือน มุมเสียดทาน  
ภายในและตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดิน

ชื่อนิสิต      นางสาวปทุมทิพย์    เพิ่มศักดิ์มิตรพิชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล    จิวาสักขณ์

ภาควิชา      วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา      2529



บทคัดย่อ

การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินสำหรับฐานรากตื้นกระทำได้หลายวิธี ทั้งจากการทดสอบ และจากการคำนวณ การวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาแนวทางในการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดิน จากการทดสอบในที่เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีคำนวณจากสมการความสามารถรับน้ำหนัก นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักกับมุมเสียดทานภายในของดินบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย เพื่อใช้ในการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดิน ให้มีค่าใกล้เคียงกับสภาพในธรรมชาติ

สำหรับการวิจัยนี้ ได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน ทดสอบสมบัติทั่วไปของดินและ Plate Bearing Test ในพื้นที่ซึ่งมีดินเป็นพวกทรายละเอียด ทรายแป้ง ทรายแป้งปนดินเหนียวและหินผุ ได้แก่บริเวณสนามบินกีฬาราชนาวี กิโลเมตรที่ 5 ถนนสัตหีบ-ระยองสายเก่า ชลบุรี คลังเก็บและบรรจุก๊าซ แอล พี ก๊าซ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย บ้านโรงโม่ ชลบุรี และโครงการท่าเทียบเรือแหลมฉบัง การท่าเรือแห่งประเทศไทย แหลมฉบัง ชลบุรี นอกจากนี้ยังทดสอบ Plate Bearing Test บนทรายจำลองสภาพ โดยบดอัดทรายให้มีความหนาแน่นค่าต่าง ๆ แล้วจึงทำการทดสอบ สำหรับการทดสอบบนทรายจำลองสภาพนี้ กระทำกับทรายที่แหลมฉบัง เท่านั้น

ค่าความสามารถรับน้ำหนักของดิน ประมาณค่าจากการทดสอบ และจากการคำนวณ พบว่าการประมาณค่าจากการคำนวณจากสมการความสามารถรับน้ำหนัก ให้ค่าที่มากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ Plate Bearing Test โดยมีค่าเป็น 1.5 - 5 เท่า ของค่าที่ได้จากการทดสอบบนดินเดิม ซึ่งสมการของ Terzaghi และ Prandtl & Reissner ให้ค่าที่ใกล้เคียง

ที่ลุ่ม และมีค่าเป็น .25 - 9 เท่า ของค่าที่ได้จากการทดสอบบนทรายที่บดอัดใหม่ ส่วนผลการประมาณค่า จาก SPT - N Value โดยสมการของ Teng และ Meyerhof พบว่าค่าความสามารถรับน้ำหนักที่ยอมรับของดินที่คำนวณได้มีความแปรปรวนมาก จึงไม่สามารถนำค่า SPT-N Value มาใช้ในการประมาณค่าได้ จะใช้ SPT-N Value ในการพิจารณาเบื้องต้นเท่านั้น

ผลการทดสอบ Direct Shear Test พบว่า ดินที่สนามกีฬาราชันารี มีค่า c ประมาณ 0.5 ตัน/ตารางเมตร  $\phi$  ประมาณ 24.5° ส่วนทรายที่บ้านโรงโม่ และที่แหลมฉบัง มีค่า  $\phi$  อยู่ระหว่าง 30° ถึง 36° โดยทดสอบกับทรายที่เตรียมตัวอย่างอื่นโดยมีความหนาแน่น ความชื้น เช่นเดียวกับสภาพเมื่อทำการทดสอบ Plate Bearing Test ทั้งที่ดินเดิม และทรายบดอัดใหม่ สำหรับตัวอย่างทรายที่บดอัดใหม่ พบว่ามีค่า "แรงยึดเหนี่ยวปรากฏ" เกิดขึ้นด้วยแรงยึดเหนี่ยวนี้เกิดขึ้นเนื่องจากทรายมีส่วนละเอียดปนอยู่มาก และมีความชื้น ค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏนี้ นำไปใช้ในการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักด้วย ส่วนผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาคของทรายที่แหลมฉบัง ทั้งก่อนและหลังการบดอัด มีการกระจายขนาดคละเหมือนเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก กับมุมเสียดทานภายในของดินบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงของประเทศไทย พบว่า ค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก ซึ่งประมาณค่าจากการทดสอบ จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ตามทฤษฎีต่าง ๆ สำหรับการวิจัยนี้ ค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก ประมาณค่าจากผลการทดสอบ Plate Bearing Test โดยสมการของ Terzaghi สามารถใช้ประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงของประเทศไทย ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงในธรรมชาติมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title                    The evaluation of the bearing capacity of soils  
for shallow foundation from the laboratory tests  
of shearing strength,  $\phi$ -parameter and bearing  
capacity factors.

Name                                Miss Patumtip Permsakmesub

Thesis Advisor                Assistant Professor Suraphol Chivalak, Ph.D.

Department                    Civil Engineering

Academic Year                1986



#### ABSTRACT

The evaluation of the bearing capacity of soils can be done in different ways from both field test and calculation. This research is concentrated in the evaluation of the bearing capacity from such two ways in comparison. The relationships between the bearing capacity factors and the internal friction angle are also included.

The in situ plate bearing test and the laboratory test for general properties were done on three sites, The Royal Thai Navy Football Stadium at Sataheep, the LPG Market Development Project at Ban Rong Po and Laem Chabang Port Project at Laem Chabang Chonburi province where the soils are mainly fine sand, silt, clayey silt and weathered rock. The plate bearing test on samples from Laem Chabang which were simulated at different density were also done.

It was found that the calculated bearing capacity are 1.5 to 5 times the value from the in situ plate bearing tests. Terzaghi and Prandtl & Reissner' equations give the closest values which ranges from .25 to 9 times the value from such test on simulated sand. The bearing

capacity calculated from SPT-N Value using Teng and Meyerhof' equations are found to have much variation. Thus, the SPT-N Value should be used as a first guide only.

The direct shear test on the sample from the stadium gave the  $c$  and  $\phi$  value of  $0.5 \text{ T/m}^2$  and  $24.5^\circ$  respectively. The tests were also done on the original and the simulated sand samples from Ban Rong Po and Laem Chabang and the  $\phi$  value obtained ranges from  $30^\circ$  to  $36^\circ$ . The "apparent cohesion" was also observed and was used in the calculation. The gradation of the sand from Laem Chabang before and after compaction are the same.

It can be concluded that the bearing capacity factors obtained from the field tests are lower than the values from theory. The value obtained from the plate bearing test using Terzaghi's equation is the most appropriate value in evaluating the bearing capacity of the soil in the eastern coast of Thailand.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาสักขณ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำทาง ตรวจสอบ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงค์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำการเตรียมการนำเสนองานวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณา ตรวจสอบ แนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

ในการทดสอบภาคสนามประกอบการวิจัย ผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ทำการทดสอบและอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ รถบรรทุกสิบล้อ รถเครน ก้อนน้ำหนัก และอื่น ๆ ที่จำเป็นจากหน่วยงานราชการ และเอกชน ซึ่งมีรายนามดังนี้

การทำเรือแห่งประเทศไทย โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี  
การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย คุณอรธรสิทธิ์ โพธิ์อภิญาณวิสุทธิ์ คุณสละ ศิลาดารุ  
หจก. ลูย์พิพัฒน์ก่อสร้าง จำกัด คุณอวยพร ลูย์พิพัฒน์  
บริษัท ส. พลังคอนสตรัคชั่น จำกัด คุณสมชัย ศรัศุภชัยยา  
บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา PENCOL คุณวิชาญ วิเวกาภิรัต  
บริษัท JGC (Japanese Gasoline Corporation) จำกัด คุณอรรถพร วนาสันตกุล  
บริษัท TFC (Thai-Fukui Construction Co.) คุณเพร็คพงษ์ แก้วลัดิต  
บริษัทอิตาเลียนไทยดีเวล็อปเม้นท์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด หน่วยงาน J 712/3

และ J 748

บริษัทชอยด์เทลดิงสยาม จำกัด

ห้องวิจัยปฏิพิภคศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณหน่วยงานต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และดูแลช่วยเหลือ งานงานทดสอบภาคสนามสำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ มุสณิธินิสิตเก่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนการศึกษา และทุนสนับสนุนการวิจัย



การทดสอบทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ผู้เขียนได้รับความช่วยเหลือเป็น  
 อย่างดียิ่งจาก คุณประยูร เตชะจินดา คุณศนิศ ธรรมธศิริ คุณอภิชัย อึ้งอร่าม คุณไพโรจน์  
 คู่ขรุ่งเรือง คุณฮิต ปราชญ์โกสินทร์ คุณปราณี ถนอมรอด คุณวีรวัฒน์ นาคย่อย และเจ้า-  
 หน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน อนึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็ด้วยความช่วยเหลือของ  
 คุณศศินันท์นาถ - ริทยา พกษโพลย์ และคุณสำริด เต่าทอง ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเอื้อ  
 อารี และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอแสดงความระลึกถึงพระคุณของ ครู อาจารย์ ที่ได้สั่งสอน อบรม วิชาความรู้  
 และจริยธรรมให้แก่ผู้เขียน จนสำเร็จการศึกษาในปัจจุบัน

ในท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนในทุกทาง รวม  
 ทั้ง พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

นางสาวปทุมทิพย์ เข้มศักดิ์มิตรพัชร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



|                                                                              |   |
|------------------------------------------------------------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                                         | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                                      | ฉ |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                                         | ช |
| สารบัญ.....                                                                  | ญ |
| สารบัญตาราง.....                                                             | ต |
| สารบัญรูป.....                                                               | น |
| สัญลักษณ์.....                                                               | ห |
| <b>บทที่</b>                                                                 |   |
| 1      บทนำ.....                                                             | 1 |
| 1.1    บทนำเรื่องทั่วไป.....                                                 | 1 |
| 1.2    วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                          | 2 |
| 1.3    ขอบเขตของการวิจัย.....                                                | 2 |
| 1.4    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                                        | 4 |
| 2      ทบทวนทฤษฎีและรายงานการทดลองในอดีต.....                                | 6 |
| 2.1    สมบัติของดินทางปฐพีวิศวกรรม (The Engineering Properties of soil)..... | 6 |
| 2.1.1    สมบัติทางกายภาพ.....                                                | 6 |
| 2.1.2    สมบัติทางเคมี.....                                                  | 6 |
| 2.1.3    ประเภทของดิน.....                                                   | 6 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

|         |                                                                                |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2     | ฐานรากตื้น (Shallow Foundation).....                                           | 7  |
| 2.2.1   | ฐานรากตื้น (Shallow Foundation).....                                           | 7  |
| 2.2.2   | ลักษณะของการพิบัติ (Modes of failure).....                                     | 7  |
| 2.2.2.1 | การพิบัติแบบทั่วไป (General Shear Failure) .....                               | 7  |
| 2.2.2.2 | การพิบัติเฉพาะแห่ง (Local Shear Failure) .....                                 | 8  |
| 2.2.2.3 | การพิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching Shear Failure) .....                           | 8  |
| 2.2.3   | การคาดหมายลักษณะของการพิบัติ.....                                              | 8  |
| 2.2.3.1 | ความสามารถอัดตัวได้หรืออัดตัวไม่ได้ของดิน<br>เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก.....        | 8  |
| 2.2.3.2 | ลักษณะการว่างตัวของชั้นดิน.....                                                | 10 |
| 2.2.3.3 | ความสม่ำเสมอของมวลดิน.....                                                     | 10 |
| 2.2.3.4 | ลักษณะกระทำของน้ำหนักบรรทุก.....                                               | 10 |
| 2.2.3.5 | ความลึกและความกว้างของฐานราก.....                                              | 10 |
| 2.3     | สมการทั่วไปของค่าความสามารถรับน้ำหนักของดิน.....                               | 11 |
| 2.3.1   | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจากทฤษฎี<br>รูปสี่เหลี่ยมของแรงคั้น..... | 12 |
| 2.3.2   | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจากทฤษฎี<br>ของ Prandtl & Reissner.....  | 14 |
| 2.3.3   | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจากทฤษฎี<br>ของ เทอร์ซาคี.....           | 17 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

|       |                                                                                                          |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.4 | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจากทฤษฎี<br>ของ บรีซี ฮานเซน.....                                  | 23 |
| 2.3.5 | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินเส้นอโดย<br>เมเยอร์ฮอฟ.....                                        | 26 |
| 2.3.6 | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจากทฤษฎี<br>ของบาลา.....                                           | 29 |
| 2.4   | การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน พารามิเตอร์ $c$ และ $\phi$ จากการ<br>ทดสอบ Direct Shear .....                   | 33 |
| 2.4.1 | การทดสอบ Direct Shear .....                                                                              | 33 |
| 2.4.2 | สาเหตุของการเกิดมุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) และ<br>แรงยึดเหนี่ยว ( $c$ ) .....                           | 36 |
| 2.4.3 | สภาพการทดสอบ Direct Shear .....                                                                          | 37 |
| 2.5   | การทดสอบความสามารถรับน้ำหนักของดินด้วยวิธีแผ่นรับน้ำหนักใน<br>ภาคสนาม (In situ Plate Bearing Test) ..... | 39 |
| 2.5.1 | ข้อสังเกตทั่วไปของการทดสอบ.....                                                                          | 39 |
| 2.5.2 | ข้อควรระวังในการทดสอบ.....                                                                               | 39 |
| 2.5.3 | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจาก<br>Plate Bearing Test .....                                    | 40 |
| 2.5.4 | การประมาณการทรุดตัวจาก Plate Bearing<br>Test .....                                                       | 42 |
| 2.5.5 | การประมาณค่า Modulus of Elasticity ของดิน...                                                             | 43 |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                                                            | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.6 การทดสอบความสามารถรับน้ำหนักของดินด้วยวิธีแผ่นรับน้ำหนัก<br>ในห้องปฏิบัติการ .....           | 44   |
| 2.6.1 การทดสอบความสามารถรับน้ำหนักด้วยแผ่นรับน้ำหนัก<br>ในห้องปฏิบัติการโดย Bent Hansen .....    | 44   |
| 2.6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเล่นอโดย Bent Hansen...                                              | 46   |
| 2.6.3 สรุปผลการทดสอบของ Bent Hansen .....                                                        | 49   |
| 2.7 การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินจาก Standard<br>Penetration Test (SPT - N Value) ..... | 51   |
| 2.7.1 วิธีการทดสอบ Standard Penetration Test .....                                               | 51   |
| 2.7.2 สาเหตุและการปรับแก้ค่า N (SPT - N Value) .....                                             | 53   |
| 2.7.3 การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดิน และการ<br>ทรุดตัวจาก SPT - N Value .....            | 55   |
| 3 การทดสอบสำหรับการวิจัย .....                                                                   | 64   |
| 3.1 บทนำเรื่องทั่วไป .....                                                                       | 64   |
| 3.1.1 การทดสอบภาคสนาม .....                                                                      | 64   |
| 3.1.2 การทดสอบ Plate Bearing Test สำหรับทรายที่<br>จำลองสภาพ.....                                | 64   |
| 3.1.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....                                                              | 65   |
| 3.2 การทดสอบภาคสนาม .....                                                                        | 65   |
| 3.2.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ.....                                                               | 65   |
| 3.2.2 การเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่างดิน และ Standard<br>Penetration Test .....                        | 68   |

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

|         |                                                                                             |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.3   | การทดสอบความหนาแน่นของดินในสนาม<br>(Field Density Test) .....                               | 68 |
| 3.2.4   | การทดสอบความสามารถรับน้ำหนักประลัยของดิน ( $q_{ult}$ )<br>ด้วยวิธี Plate Bearing Test ..... | 73 |
| 3.2.4.1 | การเตรียมการทดสอบ.....                                                                      | 73 |
| 3.2.4.2 | การทดสอบ.....                                                                               | 74 |
| 3.2.4.3 | ข้อควรระวังในการทดสอบ.....                                                                  | 78 |
| 3.3     | การทดสอบ Plate Bearing Test สำหรับทรายที่จำลองสภาพ..                                        | 78 |
| 3.3.1   | การออกแบบการทดสอบ.....                                                                      | 78 |
| 3.3.2   | การเตรียมตัวอย่าง.....                                                                      | 80 |
| 3.3.3   | การทดสอบ.....                                                                               | 83 |
| 3.4     | การทดสอบในห้องปฏิบัติการ .....                                                              | 83 |
| 3.4.1   | การหาปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติ.....                                                         | 83 |
| 3.4.2   | การดูดซับน้ำ.....                                                                           | 83 |
| 3.4.3   | การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค.....                                                              | 85 |
| 3.4.4   | การหาค่าความถ่วงจำเพาะ.....                                                                 | 85 |
| 3.4.5   | การหาขีดจำกัดแอดเตอร์เปิด.....                                                              | 87 |
| 3.4.6   | การจำแนกประเภทของดิน.....                                                                   | 87 |
| 3.4.7   | Direct Shear Test.....                                                                      | 87 |
| 3.4.7.1 | เหตุผลที่เลือกการทดสอบด้วยวิธี Direct<br>Shear Test.....                                    | 87 |
| 3.4.7.2 | การทดสอบ.....                                                                               | 87 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ |                                                                                                                                                            | หน้า |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4     | ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....                                                                                                                              | 90   |
|       | 4.1 ผลการเจาะสำรวจชั้นดิน SPT - N Value และสัมพันธ์พื้นฐาน<br>ของดิน.....                                                                                  | 90   |
|       | 4.2 ผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาค.....                                                                                                                        | 93   |
|       | 4.2.1 ผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาคดินจากหลุมเจาะ.....                                                                                                        | 93   |
|       | 4.2.2 ผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาคดินจากตัวอย่างดินที่<br>ทดสอบ Plate Bearing Test.....                                                                      | 97   |
|       | 4.3 ผลการทดสอบ และการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัย<br>ของพื้นดินเดิมจากการทดสอบ Plate Bearing Test.....                                              | 97   |
|       | 4.3.1 ผลการทดสอบและการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนัก<br>ประลัยที่สนามกีฬาราชนาวี ชลบุรี.....                                                                | 97   |
|       | 4.3.2 ผลการทดสอบและการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนัก<br>ประลัยที่คลังเก็บและบรรจุก๊าซ แอล พี 3 บ้านโรงโป๊ะ<br>ชลบุรี.....                                   | 100  |
|       | 4.3.3 ผลการทดสอบและการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนัก<br>ประลัยที่โครงการท่าเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี.....                                                    | 100  |
|       | 4.3.4 ข้อสังเกตจากกราฟความสัมพันธ์ของการทรุดตัว กับ<br>ลอการิทึมของเวลา.....                                                                               | 100  |
|       | 4.4 ผลการทดสอบและการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัยของ<br>ทรายที่จำลองสภาพจากการทดสอบ Plate Bearing Test<br>ที่โครงการท่าเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี..... | 102  |
|       | 4.4.1 การเตรียมตัวอย่างทรายจำลองสภาพด้วยการบดอัด.....                                                                                                      | 102  |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

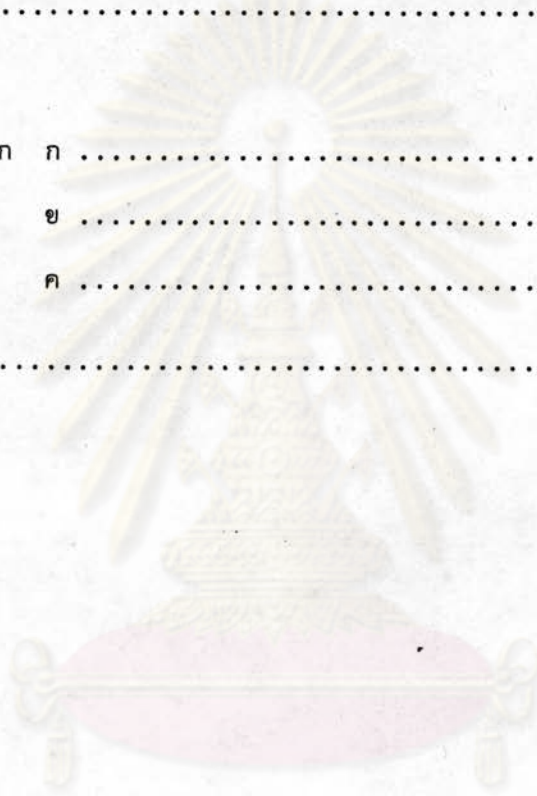
หน้า

|       |                                                                                                                                                      |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.2 | ผลการทดสอบและการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนัก<br>ประลัยของทรายจำลองสภาพที่โครงการทำเทียบเรือแหลม<br>ฉะบ่ง ชลบุรี จากการทดสอบ Plate Bearing Test....  | 105 |
| 4.5   | ผลการทดสอบ Direct Shear Test.....                                                                                                                    | 107 |
| 4.6   | ผลการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัยของดิน จากล้มการ<br>ความสามารถรับน้ำหนัก.....                                                                | 109 |
| 4.7   | ผลการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัยของดิน จาก<br>SPT - N Value.....                                                                             | 109 |
| 4.8   | เปรียบเทียบค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัยที่ประมาณค่าจากล้มการ<br>ตามทฤษฎีต่าง ๆ และจากการทดสอบภาคสนาม.....                                           | 109 |
| 4.9   | ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก<br>$N_c, N_q, N_\gamma$ กับ $\phi_D$ .....                                                          | 115 |
| 5     | สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....                                                                                                                     | 123 |
| 5.1   | สรุปผลการวิจัย.....                                                                                                                                  | 123 |
| 5.1.1 | การประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักของดินชายฝั่งทะเล<br>ภาคตะวันออกจากการทดสอบภาคสนาม และการประมาณ<br>ค่าจากทฤษฎี.....                                  | 123 |
| 5.1.2 | พารามิเตอร์ของดิน ค่า c และ $\phi$ จากการทดสอบ<br>Direct Shear .....                                                                                 | 123 |
| 5.1.3 | ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก<br>ของดิน $N_c, N_q, N_\gamma$ กับ $\phi_D$ ของดินบริเวณชายฝั่ง<br>ทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย..... | 124 |



สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                | หน้า |
|----------------------|------|
| 5.2 ข้อเสนอนะ.....   | 124  |
| เอกสารอ้างอิง.....   | 126  |
| ภาคผนวก              |      |
| ภาคผนวก ก .....      | 128  |
| ข .....              | 139  |
| ค .....              | 183  |
| ประวัติผู้เขียน..... | 186  |



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                               | หน้า |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1      | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดินสำหรับใช้ในสมการของ Prandtl and Reissner .....                                      | 16   |
| 2.2      | แสดงค่า $K_p$ และ $K'_p$ สำหรับใช้ในสมการความสามารถรับน้ำหนักของ เทอร์ซาก็ .....                                              | 22   |
| 2.3      | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักสำหรับใช้ในสมการ 2.21 ถึง 2.23 .....                                                      | 22   |
| 2.4      | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักสำหรับใช้ในสมการความสามารถรับน้ำหนักของ Meyerhof และ Hansen .....                         | 25   |
| 2.5      | แสดงค่าตัวประกอบ สำหรับรูปร่าง ความลึก ฯลฯ สำหรับใช้ในสมการความสามารถรับน้ำหนักของ Hansen .....                               | 25   |
| 2.6      | แสดงค่าตัวประกอบสำหรับ รูปร่าง ความลึก และความเอียงสำหรับใช้ในสมการของ Meyerhof .....                                         | 28   |
| 2.7      | สรุปสมการทั่วไปของสมการความสามารถรับน้ำหนัก และตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก .....                                            | 32   |
| 2.8      | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพัทธ์ มุมเสียดทานภายใน และหน่วยน้ำหนักกับค่า SPT-N Value สำหรับทราย .....                | 54   |
| 2.9      | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $q_u, \gamma$ กับ SPT-N Value สำหรับ Cohesive soil .....                                              | 54   |
| 3.1      | ปริมาณการทดลอบในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ .....                                                                              | 66   |
| 3.2      | เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของน้ำหนักตันแบบรถบรรทุก + น้ำหนักบรรทุกกับก้อนน้ำหนักวางบนคาน .....                                  | 76   |
| 3.3      | ขนาดขอบเขตของระนาบพิบัติสำหรับแผ่นทดลอบเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร (1 ฟุต) สำหรับค่ามุมเสียดทานภายในแต่ละค่าที่ลุ่มนัยกัน .... | 82   |

สำรบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                                                                   | หน้า |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1ก     | แสดงสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่างจากหลุม BH1 ส่นามกัฟิราชนาวี<br>สัตหีบ ชลบุรี .....                                                                                                                                                | 91   |
| 4.1ข     | แสดงสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่างจากหลุม BH2 ส่นามกัฟิราชนาวี<br>สัตหีบ ชลบุรี .....                                                                                                                                                | 91   |
| 4.2ก     | แสดงสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่างจากหลุม BH1 คลังเก็บและบรรจุ<br>ก๊าซ แอลพีจี บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี .....                                                                                                                              | 94   |
| 4.2ข     | แสดงสมบัติพื้นฐานของทรายจากหลุม BH2 คลังเก็บและบรรจุก๊าซ<br>แอล พีจี บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี .....                                                                                                                                     | 94   |
| 4.3ก     | แสดงสมบัติพื้นฐานของทรายจากหลุม BH1 โครงการทำเทียบเรือ<br>แหลมฉบัง ชลบุรี .....                                                                                                                                                   | 96   |
| 4.3ข     | แสดงสมบัติพื้นฐานของทรายจากหลุม BH2 โครงการทำเทียบเรือ<br>แหลมฉบัง ชลบุรี .....                                                                                                                                                   | 96   |
| 4.4      | แสดงค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัย จากผลการทดสอบ Plate<br>Bearing Test แผ่นรับน้ำหนัก เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร ....                                                                                                              | 103  |
| 4.5      | แสดงค่าความหนาแน่นแห้ง จำนวนเที่ยวของการบดอัด และความ<br>สามารถรับน้ำหนักประลัย จากการทดสอบ Plate Bearing<br>Test ซึ่งแผ่นรับน้ำหนักมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร ของ<br>ทรายจำลองสภาพโครงการทำเทียบเรือ แหลมฉบัง ชลบุรี ..... | 104  |
| 4.6      | ผลการทดสอบค่า c และ $\phi_D$ จาก Direct Shear Test ....                                                                                                                                                                           | 108  |
| 4.7      | ผลการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัยของดิน ประมาณค่า<br>โดยทฤษฎีต่าง ๆ จากค่าพารามิเตอร์ของดินจากดินเดิม และผลการประมาณ<br>ค่าความสามารถรับน้ำหนักที่ยอมให้จาก SPT-N Value .....                                              | 110  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                                                                                               | หน้า |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.8      | แสดงผลการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัยของทราย<br>จำลองสภาพ โดยใช้ข้อจำกัด และพารามิเตอร์ของทรายจำลอง<br>สภาพนั้น ประมาณค่าตามทฤษฎีต่าง ๆ .....                                                                                                          | 111  |
| 4.9ก     | แสดงอัตราส่วนของค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัย ซึ่งประมาณ<br>ค่าจากทฤษฎีต่าง ๆ ต่อความสามารถรับน้ำหนักประลัย ซึ่งประมาณ<br>ค่าจาก Plate Bearing Test ของดินเดิม บริเวณชายฝั่ง<br>ทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย .....                                             | 113  |
| 4.9ข     | แสดงอัตราส่วนของค่าความสามารถรับน้ำหนักประลัย ซึ่งประมาณค่า<br>จากทฤษฎีต่าง ๆ ต่อความสามารถรับน้ำหนักประลัย ซึ่งประมาณค่า<br>จาก Plate Bearing Test ของทรายจำลองสภาพ โครง-<br>การทำเทียบเรือ แหลมฉบัง ชลบุรี .....                                            | 114  |
| ข.1ก     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถ<br>รับน้ำหนัก $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ และการลองแทนค่า<br>$\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Rankine Wedge .....                                                                                      | 173  |
| ข.1ข     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถ<br>รับน้ำหนักประลัย จากค่า $q_{ult}$ ที่ได้จาก Plate Bearing<br>Test ซึ่งกระทำการทดสอบบนทรายจำลองสภาพ บดอัด และการลอง<br>แทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Rankine Wedge .....                             | 174  |
| ข.2ก     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถ<br>รับน้ำหนัก $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ และการลองแทนค่า<br>$\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Prandtl & Reissner .....                                                                                 | 175  |
| ข.2ข     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถ<br>รับน้ำหนักประลัย $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ ที่ได้จาก<br>Plate Bearing Test ซึ่งกระทำการทดสอบบนทรายจำลองสภาพ<br>บดอัด และการลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Prandtl &<br>Reissner ..... | 176  |

## สำรบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ข.3ก     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ และการลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi ..... 177                                                                                |
| ข.3ข     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักประลัย $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ ที่ได้จาก Plate Bearing Test ซึ่งกระทำการทดสอบนทรายจำลองสภาพ บดอัด และการลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi ..... 178       |
| ข.4ก     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ และการลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Brinch Hansen ..... 179                                                                           |
| ข.4ข     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักประลัย $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ ที่ได้จาก Plate Bearing Test ซึ่งกระทำการทดสอบนทรายจำลองสภาพบดอัด และการทดลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Brinch Hansen ..... 180 |
| ข.5ก     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ และการลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof ..... 181                                                                                |
| ข.5ข     | แสดงสมบัติของดิน และผลการประมาณค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักประลัย $N_c, N_q, N_\gamma$ จากค่า $q_{ult}$ ที่ได้จาก Plate Bearing Test ซึ่งกระทำการทดสอบนทรายจำลองสภาพ บดอัด และการลองแทนค่า $\phi_p$ โดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof ..... 182       |

สารบัญรูป

| รูปที่ |                                                                                                                                                                                                        | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1    | แสดงพื้นที่บริเวณขยายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย .....                                                                                                                                   | 3    |
| 2.1    | แสดงรูปแบบของการพิบัติ .....                                                                                                                                                                           | 9    |
| 2.2    | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความลึกต่อความกว้างของฐานราก ( $D_f/B$ ) และความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่มีผลต่อลักษณะของการพิบัติ (Modes of failure of Model Footings in Chattahoochee Sand) .....        | 9    |
| 2.3    | แสดงระนาบของการพิบัติเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rankine failure planes) เมื่อดินรับน้ำหนักประลัย .....                                                                                                         | 13   |
| 2.4    | แสดงขอบเขตระนาบของการพิบัติ เป็นระนาบโค้งก้นหอยและแบ่งเป็นบริเวณ (zone) ต่าง ๆ เนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน เมื่อฐานรากยาวต่อเนื่องซึ่งวางอยู่บนดินในอุดมคติ รับน้ำหนักบรรทุก (After Prandtl, 1920) .. | 13   |
| 2.5    | แสดงพัฒนาการของสมการความสามารถรับน้ำหนักของเทอร์ซาคี .....                                                                                                                                             | 19   |
|        | (ก) ฐานรากตัน ไม่คิดแรงเสียดทานแนว $cd$ แทนเป็นน้ำหนักกด                                                                                                                                               |      |
|        | $q = \gamma D_f$                                                                                                                                                                                       |      |
|        | (ข) สมมติฐานของรูปแบบของการพิบัติสำหรับรากของสมการของเทอร์ซาคี                                                                                                                                         |      |
|        | (ค) ภาพแสดงแรงที่กระทำต่อมวลดิน ถ้า $\beta = \phi$                                                                                                                                                     |      |
| 2.6    | แสดงการพิบัติแบบทั่วไปและแบบเฉพาะแห่ง (after Terzaghi, 1943) .                                                                                                                                         | 19   |
|        | (ก) เส้นกราฟ 1 สำหรับการพิบัติแบบทั่วไป ดินมีกำลังต้านน้ำหนักบรรทุกเกิดการทรุดตัวเล็กน้อย และเกิดการพิบัติทันที                                                                                        |      |
|        | (ข) การเคลื่อนตัวของดินเมื่อเกิดการพิบัติแบบทั่วไป                                                                                                                                                     |      |
|        | (ค) ข้อจำกัดสำหรับการพิบัติแบบเฉพาะแห่ง                                                                                                                                                                |      |
| 2.7    | ตัวประกอบลดค่า เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเชิงซ้อน .....                                                                                                                                                    | 27   |
|        | (ก) Reduction factors สำหรับน้ำหนักบรรทุกเชิงซ้อน                                                                                                                                                      |      |
|        | (ข) แสดงอัตราส่วนที่ไ้ในข้อ (ก) และแสดงถึงความกว้างที่ไ้ในอัตราส่วน                                                                                                                                    |      |

สำรบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                                                   | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.8    | แสดงค่าของอัตราส่วน $\rho$ สำหรับ $c/b\gamma$ และ $D/b$ ค่าต่าง ๆ สำหรับใช้ในรูปที่ 2.9 สำหรับหาค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดิน .....                      | 31   |
| 2.9    | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดิน $N_c, N_q, N_\gamma$ สำหรับใช้ในสมการที่ (2.41) (Balla's Bearing Capacity Equation) .....                              | 31   |
| 2.10   | แสดงภาพตัดของ Shear box ในการทดสอบ Direct Shear Test                                                                                                              | 34   |
| 2.11   | ผลการทดสอบ Direct Shear .....                                                                                                                                     | 35   |
|        | (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร กับระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบจาก Direct Shear Test                            |      |
|        | (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดในแนวตั้งจากกับหน่วยแรงเฉือนในแนวราบจาก Direct Shear Test                                                                        |      |
| 2.12   | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มของการเกิดแรงยึดเหนี่ยวประเภทต่าง ๆ กับขนาดของเม็ดดินและกำลังของดิน (Ingles, 1962) .....                                            | 38   |
| 2.13   | แสดงการทดสอบ Plate Bearing Test ตามมาตรฐานของ ASTM.D 1194-57 .....                                                                                                | 41   |
| 2.14   | ผลการทดสอบ Plate Bearing Test .....                                                                                                                               | 41   |
|        | (ก) กราฟของลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว                                                                                                                          |      |
|        | (ข) กราฟของน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                             |      |
| 2.15   | ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการทรุดตัว และอัตราส่วนขนาดความกว้างฐานของรากจริงกับแผ่นทดสอบ (B/b) เล่นโดย Terzaghi and Peck (1948) และ Bjerrum and Eggstad (1963) ..... | 41   |
| 2.16   | แสดงการจัดวางน้ำหนักบรรทุก สำหรับการทดสอบความสามารถรับน้ำหนักของทราย ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกบนผิวหน้าเป็นทรายหลวม .....                                               | 45   |

สำรบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                                                                                                                                  | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.17   | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว สำหรับ การทดสอบความสามารถรับน้ำหนักในช่วง เริ่มต้นโดยแผ่นรับน้ำหนัก เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.6 ซม. อัตราส่วนช่องว่าง $e = 0.6$ ใช้น้ำเป็น น้ำหนักบรรทุกบนผิวทราย $q = 19.0 \text{ ksc}$ ..... | 47   |
| 2.18   | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการทรุดตัวสำหรับช่วงสุดท้าย . ของการทดสอบ ความสามารถรับน้ำหนักของทรายเช่นเดียวกับรูปที่ 2.17..                                                                                                                 | 47   |
| 2.19   | แสดงผลจากการทดสอบความสามารถรับน้ำหนัก โดยมี $N_s$ เป็นฟังก์ชัน ของ $\phi_c$ ซึ่งคำนวณจาก Triaxial Test จากทฤษฎีของ Prandtl                                                                                                                       | 50   |
| 2.20   | แสดงค่ามุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) คำนวณจาก Triaxial Test และ การทดสอบความสามารถรับน้ำหนัก ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนช่องว่าง เมื่อเริ่มต้น สำหรับทราย G 12 .....                                                                              | 50   |
| 2.21   | แสดงสัดส่วนมาตรฐานของกระบอกผ่าซีก (Split barrel) .....                                                                                                                                                                                           | 52   |
| 2.22   | (ก) แสดงกราฟของสัมพันธ์การ (2.73) .....                                                                                                                                                                                                          | 57   |
|        | (ข) แสดงกราฟของสัมพันธ์การ (2.74ก) และ (2.74ข) .....                                                                                                                                                                                             | 57   |
| 2.23   | แสดงตัวประกอบปรับแก้เนื่องจากผลกระทบของความดันประสิทธิผลเหนือ จุดที่พิจารณา สำหรับ SPT-N Value เสนอโดย Tomlinson (1969) Peck and Bazaraa (1969) และ Peck, Hanson and Thornburn (1974) .....                                                      | 57   |
| 2.24   | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SPT-N Value และ $\phi'$ $N_q$ และ $N_\gamma$ โดย Peck, Hanson and Thornburn (1974) .....                                                                                                                                 | 59   |
| 2.25   | แสดงสัมพันธ์ฐานความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi$ และความหนาแน่นสัมพัทธ์ .....                                                                                                                                                                           | 61   |
| 2.26   | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi'$ กับ $N/\sigma'_{vo}$ .....                                                                                                                                                                                   | 61   |
| 2.27   | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $N_\gamma$ กับ $N/\sigma'_{vo}$ และ $N_q$ กับ $N/\sigma'_{vo}$ .....                                                                                                                                                 | 61   |



สำรบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                                                                                                     | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.28   | แสดงค่าตัวประกอบความล้ามารถรับน้ำหนัก $N_c, N_q, N_\gamma$ โดย Terzaghi (1943) .....                                                                                                                                | 61   |
| 3.1    | แสดงบริเวณที่ทดสอบ ณ สนามกีฬาราชนาวี ฐานทัพเรือสัตหีบ กม. ที่ 5 ถนนสัตหีบ - ระยองสายเก่า ชลบุรี .....                                                                                                               | 67   |
| 3.2    | แสดงบริเวณที่ทดสอบ ณ คลังเก็บและบรรจุก๊าซ แอล พี ซี บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี .....                                                                                                                                        | 69   |
| 3.3    | ก. แสดงบริเวณที่ทดสอบโครงการทำ เขียบเรือแหลมฉบัง การทำ เรือแห่ง ประเทศไทย                                                                                                                                           | 70   |
|        | ข. แสดงบริเวณที่ดินที่เวนคืนเพื่อใช้ในโครงการทำ เขียบเรือแหลมฉบัง                                                                                                                                                   | 71   |
| 3.4    | แสดงรายละเอียดของกรวยมาตรฐาน และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องมือทดสอบความหนาแน่นของดิน ตามมาตรฐาน ASTM D1556-64 .....                                                                                                 | 72   |
| 3.5    | แสดงน้ำหนักด้าม เป็นรถบรรทุก + น้ำหนักบรรทุก สำหรับทดสอบ Plate Bearing Test .....                                                                                                                                   | 75   |
| 3.6    | แสดงน้ำหนักด้าม เป็นก้อนน้ำหนักวางบนคาน สำหรับทดสอบ Plate Bearing Test .....                                                                                                                                        | 75   |
| 3.7    | แสดงการติดตั้ง เครื่องมือทดสอบ Plate Bearing Test .....                                                                                                                                                             | 77   |
|        | (ก) ทดสอบ Plate Bearing Test ที่ความลึก 0.50 m.                                                                                                                                                                     |      |
|        | (ข) ทดสอบ Plate Bearing Test ที่ความลึก 1.00 m.<br>ต้องใช้กันเหล็กถ่ายถอดแรง                                                                                                                                        |      |
| 3.8    | แสดงการหาค่า $q_{ult}$ จากกราฟของการทรุดตัวกับน้ำหนักบรรทุกด้วยวิธีลากเส้นสัมผัสกราฟตัดกัน (Double Tangent) จากการทดสอบ Plate Bearing Test ความลึก 1.0m. ที่คลังเก็บและบรรจุก๊าซ แอล พี ซี บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี ..... | 79   |
| 3.9    | แสดงระนาบของการทับดีใช้ในการออกแบบการทดสอบ .....                                                                                                                                                                    | 81   |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                              | หน้า |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.10   | แสดงการเตรียมตัวอย่างทรายจำลองสภาพโดยการบดอัดด้วยล้อ-<br>คอนกรีตตัน .....                                                    | 84   |
| 3.11   | แสดงการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Percent<br>absorption ก. ข. และ ค. แสดงการทดสอบ ง. แสดง<br>เครื่องมือที่ใช้ ..... | 86   |
| 3.12   | แสดงเครื่องทดสอบ Direct Shear ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและเพือง-<br>ทดรอบ .....                                                        | 89   |
|        | (ก) แสดง Mold และเครื่องมือมอเตอร์ไฟฟ้า                                                                                      |      |
|        | (ข) ภาพหลายเส้นแสดงรายละเอียดของเครื่องมือมอเตอร์ไฟฟ้า สำหรับ<br>ทดสอบ Direct Shear                                          |      |
| 4.1    | แสดงผลการเจาะสำรวจที่ลำนามกพิราข่านารี ฐานทัพเรือสัตหีบ ชลบุรี ...                                                           | 92   |
|        | (ก) แสดงผลการเจาะสำรวจของหลุม BH1                                                                                            |      |
|        | (ข) แสดงผลการเจาะสำรวจของหลุม BH2                                                                                            |      |
| 4.2    | แสดงผลการเจาะสำรวจที่คลังเก็บและบรรจุก๊าซ แอล พี 3 บ้านโรงโป๊ะ<br>ชลบุรี .....                                               | 92   |
|        | (ก) ผลการเจาะสำรวจของหลุม BH1                                                                                                |      |
|        | (ข) ผลการเจาะสำรวจของหลุม BH2                                                                                                |      |
| 4.3    | แสดงผลการเจาะสำรวจที่โครงการท่าเทียบเรือแหลมฉบัง แหลมฉบัง<br>ชลบุรี .....                                                    | 95   |
|        | (ก) แสดงผลการเจาะสำรวจของหลุม BH1                                                                                            |      |
|        | (ข) แสดงผลการเจาะสำรวจของหลุม BH2                                                                                            |      |
|        | (ค) แสดงผลการเจาะสำรวจของหลุม BH3                                                                                            |      |
|        | (ง) แสดงผลการเจาะสำรวจของหลุม BH4                                                                                            |      |
| 4.4    | แสดงการกระจายขนาดคละของดินที่ลำนามกพิราข่านารี ชลบุรี เปรียบ<br>เทียบกับความลึก 0.20 เมตร และ 0.50 เมตร .....                | 98   |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                                                                                                                        | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.5    | แสดงการกระจายขนาดคละของทรายที่ค้ำงเก็บและบรรจุภาช แอล พี ๘<br>บ้านโรงโปะ ชลบุรี .....                                                                                                                                                  | 98   |
| 4.6    | แสดงการกระจายขนาดคละของทรายที่ค้ำงเก็บและบรรจุภาช แอล พี ๘<br>บ้านโรงโปะ เปรียบเทียบกับทรายที่โครงการทำ เทียบเรือแหลมฉบัง<br>ชลบุรี .....                                                                                              | 99   |
| 4.7    | แสดงการกระจายขนาดคละของทรายที่โครงการทำ เทียบเรือแหลมฉบัง<br>เปรียบเทียบก่อนและหลังการบดอัด .....                                                                                                                                      | 99   |
| 4.8    | แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test ความลึก 1.0 เมตร<br>ค้ำงเก็บและบรรจุภาช แอล พี ๘ บ้านโรงโปะ ชลบุรี .....                                                                                                                             | 101  |
|        | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                                                                              |      |
|        | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอกการติมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                                                                          |      |
| 4.9    | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเที่ยวของการบดอัดกับความหนา<br>แน่นแห้งเฉลี่ยของทรายที่จำลองสภาพ แหลมฉบัง .....                                                                                                                        | 106  |
| 4.10   | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของ ดินบริ เวณชายฝั่งทะเล<br>ภาคตะวันออกของประเทศไทย ประมาณค่าจาก $q_{ult}$ จาก<br>Plate Bearing Test โดยใช้ทฤษฎีของ Rankine Wedge<br>(สมการความสามารถรับน้ำหนักของ Rankine) .....                 | 117  |
|        | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอกการติมของ $N_c$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                                         |      |
|        | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอกการติมของ $N_q$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                                         |      |
|        | (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอกการติมของ $N_\gamma$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                                    |      |
| 4.11   | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของ ดินบริ เวณชายฝั่งทะเล<br>ภาคตะวันออกของประเทศไทย ประมาณค่าจาก $q_{ult}$ จาก<br>Plate Bearing Test โดยใช้ทฤษฎีของ Prandtl & Reissner<br>(สมการความสามารถรับน้ำหนักของ Prandtl & Reissner) ..... | 118  |

ลํารับัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

|      |                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|      | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_c$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                           |     |
|      | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_q$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                           |     |
|      | (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_\gamma$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                      |     |
| 4.12 | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดินบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย ประมาณค่าจาก $q_{ult}$ จาก Plate Bearing Test โดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi (สมการความสามารถรับน้ำหนักของ Terzaghi) .....           | 119 |
|      | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_c$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                           |     |
|      | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_q$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                           |     |
|      | (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_\gamma$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                      |     |
| 4.13 | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดินบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย ประมาณค่าจาก $q_{ult}$ จาก Plate Bearing Test โดยใช้ทฤษฎีของ Brinch Hansen (สมการความสามารถรับน้ำหนักของ Brinch Hansen) ..... | 120 |
|      | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_c$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                           |     |
|      | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_q$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                           |     |
|      | (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_\gamma$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                      |     |
| 4.14 | แสดงค่าตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนักของดินบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย ประมาณค่าจาก $q_{ult}$ จาก Plate Bearing Test โดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof (สมการความสามารถรับน้ำหนักของ Meyerhof) .....           | 121 |
|      | (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_c$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                               |     |
|      | (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_q$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                               |     |
|      | (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ $N_\gamma$ กับ $\phi_D$                                                                                                                                                          |     |

## ลำารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า                                                                                                                                                                             |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ก.1    | ส่วนของการพิบัติซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ห้ล้การความล้การรับน้ำหนัก<br>ของดินของ Terzaghi ..... 130                                                                                  |
| ก.2    | แสดงส่วนของแรงและส่วนของระนาบพิบัติ ซึ่งใช้ในการหาห้การ<br>ความล้การรับน้ำหนักของดินโดย Balla ..... 133                                                                          |
| ก.3    | แสดงการหาห้การความล้การรับน้ำหนัก โดยใช้ทฤษฎี Rankine<br>Wedge (ก) การหาห้การ (ข) แสดงการแปลงค่าของน้ำหนัก<br>กดให้ล้ดคล้องกับการหาห้การในรูป (ก) เมื่อฐานรากมีความลึก ..... 136 |
| ก.4    | แสดงค่าตัวประกอบลดค่าเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน ( $P'$ ) ซึ่งค่าเหม้่ง<br>ของระดับน้ำใต้ดินตั้งแสดงในรูป ..... 138                                                                  |
| ข.1    | แสดงการกระจายขนาดคล้ะของดินจากหลุม BH1 ส้นามกีฬาราย่นาวี<br>ฐานห้ห้เรือล้ตห้บ ่ลบุรี ..... 140                                                                                   |
| ข.2    | แสดงการกระจายขนาดคล้ะของดินจากหลุม BH2 ส้นามกีฬาราย่นาวี<br>ฐานห้ห้เรือล้ตห้บ ่ลบุรี ..... 140                                                                                   |
| ข.3    | แสดงการกระจายขนาดคล้ะของดินจากหลุม BH1 และ BH2 คล้่ง<br>เก็บและบรรจุเกี๊าช แอล พี ซี บ้านโรงโป๊ะ ่ลบุรี ..... 141                                                                |
| ข.4    | แสดงการกระจายขนาดคล้ะของดินจากหลุม BH1 โครงการท่าเห้บ<br>เรือแหลมฉบั้ง ่ลบุรี ..... 142                                                                                          |
| ข.5    | แสดงการกระจายขนาดคล้ะของดินจากหลุม BH2 โครงการท่าเห้บ<br>เรือแหลมฉบั้ง ่ลบุรี ..... 142                                                                                          |
| ข.6    | แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia.<br>= 30.48 ซม.) ทดล้บที่ความลึก 0.20 เมตร ส้นามกีฬาราย่นาวี<br>ฐานห้ห้เรือล้ตห้บ ่ลบุรี ..... 143                                  |
|        | (ก) แสดงกราฟความล้สัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                      |
|        | (ข) แสดงกราฟความล้สัมพันธ์ระหว่างลอกการล้ิมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                 |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                                                                                                                                                                               | หน้า |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ข.7    | <p>แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบที่ความลึก 0.50 เมตร ส่นามกีฬาธาราชนาฐ ฐานทัพเรือสัตหีบ ชลบุรี .....</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว</p>          | 144  |
| ข.8    | <p>แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบที่ความลึก 0.50 เมตร คลังเก็บและบรรจุ ก๊าซ แอล พี ซี บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี .....</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับเวลา</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว</p>       | 145  |
| ข.9    | <p>แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบที่ความลึก 1.0 เมตร คลังเก็บและบรรจุ ก๊าซ แอล พี ซี บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี .....</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว</p>  | 146  |
| ข.10   | <p>แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบที่ผิวดิน (การทดสอบที่ 3/1) โครงการ ทำเทียบเรือแหลมฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี .....</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว</p> | 147  |
| ข.11   | <p>แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบที่ผิวดิน (การทดสอบที่ 3/2) โครงการ ทำเทียบเรือแหลมฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี .....</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว</p> | 148  |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                                                            | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ข.12   | แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia.<br>= 30.48 ซม.) ทดสอบที่ความลึก 0.5 เมตร บนดินเดิม โครงการ<br>ทำเทียบเรือแหลมฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี .....                      | 149  |
|        | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                  |      |
|        | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว.                                                                                                              |      |
| ข.13   | แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia.<br>= 30.48 ซม.) ทดสอบที่ความลึก 1.0 เมตร บนดินเดิม โครงการ<br>ทำเทียบเรือแหลมฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี .....                      | 150  |
|        | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                  |      |
|        | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว                                                                                                               |      |
| ข.14   | แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia.<br>= 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพหลวม (No<br>Compaction) ที่ผิว โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี .....                   | 151  |
|        | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                  |      |
|        | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว                                                                                                               |      |
| ข.15   | แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia.<br>= 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพหลวม (No<br>Compaction) ที่ความลึก 0.5 เมตร โครงการทำเทียบเรือแหลม-<br>ฉบัง ชลบุรี ..... | 152  |
|        | (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                  |      |
|        | (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว                                                                                                               |      |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <p>ข.16 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 2 เทียว ที่ผิวหน้า<br/>โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 153</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว</p>       |      |
| <p>ข.17 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 2 เทียว ที่ความลึก 0.50 เมตร โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 154</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว</p> |      |
| <p>ข.18 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 8 เทียว ที่ผิวหน้า<br/>โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 155</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว</p>       |      |
| <p>ข.19 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 8 เทียว ที่ความลึก 0.50 เมตร โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 156</p> <p>(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว</p> |      |
| <p>ข.20 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 8 เทียว ที่ความลึก 0.50 เมตร (โดยไม่ทดสอบที่ผิวก่อน) โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 157</p>                                                                                                              |      |



สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                                                     | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                                  |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                              |      |
| ข.21 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 12 เทียว ที่ ผิวหน้า โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี .....                                     | 158  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                                  |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                              |      |
| ข.22 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 12 เทียว ที่ ความลึก 0.50 เมตร โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี .....                           | 159  |
| (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                                      |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                              |      |
| ข.23 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 12 เทียว ที่ ความลึก 0.50 เมตร (ไม่ทดสอบที่ผิวหน้าก่อน) โครงการทำเทียบ เรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... | 160  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                                  |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                              |      |
| ข.24 แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบนทรายจำลองสภาพ บดอัด 16 เทียว ที่ ผิวหน้า โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี .....                                     | 161  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว                                                                                                                                  |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของ เวลากับการทรุดตัว                                                                                                                              |      |

สำรบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <p>ข.25    แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพอัด 16 เทียว ที่ ความลึก 0.50 เมตร โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 162</p> <p>(ก)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว</p>                                                                                                      |      |
| <p>ข.26    แสดงผลการทดสอบ Plate Bearing Test (Plate dia. = 30.48 ซม.) ทดสอบบนทรายจำลองสภาพอัด 16 เทียว ที่ ความลึก 0.50 เมตร (ไม่ทดสอบที่ผิวหน้าก่อน) โครงการทำเทียบ เรือแหลมฉบัง ชลบุรี ..... 163</p> <p>(ก)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว</p> <p>(ข)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของเวลากับการทรุดตัว</p>                                                                            |      |
| <p>ข.27    แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่างดิน เดิมความลึก 0-0.50 เมตร สันามกีฬาราชนาวี ฐานทัพเรือสัตหีบ ชลบุรี ..... 164</p> <p>(ก)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ</p> <p>(ข)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ การเคลื่อนที่ในแนวราบ</p> <p>(ค)    แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง <math>\sigma_n</math> กับ <math>\tau</math></p> |      |
| <p>ข.28    แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่างทราย ลสภาพดินเดิมที่ความลึก 0-1.0 เมตร คลังเก็บและบรรจุก๊าซ แอล พี ๔ บ้านโรงโป๊ะ ชลบุรี ..... 165</p> <p>(ก)    แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ</p>                                                                                                                                                            |      |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                 | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับ<br>ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                                   |      |
| (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_n$ กับ $\tau$                                                                                                  |      |
| ข.29 แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่าง<br>ทรายลึ่กดินเดิมที่มีความลึก 0-0.5 เมตร โครงการทำเขียบเรือแหลม-<br>ฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี ..... | 166  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ<br>ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                               |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ<br>การเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                                   |      |
| (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_n$ กับ $\tau$                                                                                                      |      |
| ข.30 แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่างทราย<br>จากดินเดิมที่มีความลึก 1 เมตร โครงการทำเขียบเรือแหลมฉบัง<br>แหลมฉบัง ชลบุรี .....        | 167  |
| (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับระยะ<br>การเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                                   |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ<br>การเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                                   |      |
| (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_n$ กับ $\tau$                                                                                                  |      |
| ข.31 แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่างทราย<br>จำลองลึ่กพหลวม (No Compaction) โครงการทำเขียบเรือ<br>แหลมฉบัง แหลมฉบัง ชลบุรี .....      | 168  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ<br>ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                               |      |

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับ  
ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ

(ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\sigma_n$  กับ  $\tau$

ข.32 แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่าง  
ทรายจำลองสภาพอัด 2 เทียว โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง  
แหลมฉบัง ชลบุรี ..... 169

(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ  
ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ

(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ  
การเคลื่อนที่ในแนวราบ

(ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\sigma_n$  กับ  $\tau$

ข.33 แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test, ทดสอบกับตัวอย่างทราย  
จำลองสภาพอัด 8 เทียว โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง  
แหลมฉบัง ชลบุรี ..... 170

(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ  
ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ

(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ  
การเคลื่อนที่ในแนวราบ

(ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\sigma_n$  กับ  $\tau$

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                  | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ข.34                                                                                                                                    | 171  |
| แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่างทราย<br>ทรายจำลองสภาพปกติ 12 เทียว โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง<br>แหลมฉบัง ชลบุรี ..... | 171  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ<br>ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ<br>การเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                    |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_n$ กับ $\tau$                                                                                   |      |
| ข.35                                                                                                                                    | 172  |
| แสดงผลการทดสอบ Direct Shear Test ทดสอบกับตัวอย่างทราย<br>จำลองสภาพปกติ 16 เทียว โครงการทำเทียบเรือแหลมฉบัง แหลม-<br>ฉบัง ชลบุรี .....   | 172  |
| (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (แรงเฉือน) กับ<br>ระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                |      |
| (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับระยะ<br>การเคลื่อนที่ในแนวราบ                                                    |      |
| (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_n$ กับ $\tau$                                                                                   |      |

สัญลักษณ์



- A = พื้นที่ของฐานรากรับน้ำหนักบรรทุก
- A' = พื้นที่ที่ปรับแก้แล้วของฐานรากที่รับน้ำหนักบรรทุกเบื้องต้น
- B = ความกว้างของฐานรากสี่เหลี่ยม หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางของฐานรากกลม
- B' = ความกว้างของฐานรากสี่เหลี่ยม หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่ปรับแก้แล้วเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเบื้องต้น
- B<sub>f</sub> = ความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของฐานรากจริง
- B<sub>p</sub> = ความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นรับน้ำหนัก
- b = ครึ่งหนึ่งของความกว้างของฐาน,  $b = \frac{B}{2}$
- c = แรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)
- D<sub>f</sub> = ความลึกของฐานราก (Depth of Footing)
- d = ตัวประกอบความลึก (Depth factor)
- d<sub>c</sub> = ตัวประกอบความลึก สำหรับเทอม q<sub>c</sub>
- d<sub>q</sub> = ตัวประกอบความลึก สำหรับเทอม q<sub>q</sub>
- d<sub>γ</sub> = ตัวประกอบความลึก สำหรับเทอม q<sub>γ</sub>
- E<sub>PLT</sub> = Modulus of Elasticity ของดินใต้แผ่นทดสอบ
- e<sub>v</sub> = อัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน (Void Ratio)
- e = ระยะเบื้องต้นของน้ำหนักบรรทุก
- e<sub>x</sub> = ระยะเบื้องต้นของน้ำหนักบรรทุก ในแนวแกน x
- e<sub>y</sub> = ระยะเบื้องต้นของน้ำหนักบรรทุก ในแนวแกน y
- F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, ..., F<sub>n</sub> = ค่าของสมการต่าง ๆ ที่ใช้ใน Balla's bearing capacity equation
- G = Shear Modulus

สัญลักษณ์ (ต่อ)



- $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- $I_r$  = Rigidity Index
- $I_{rr}$  = Reduced Rigidity Index
- $I_v$  = Rigidity Index เมื่อคิดถึงผลของความเครียดเชิงปริมาตรเฉลี่ย
- $i$  = ตัวประกอบเนื่องจากความเอียงของน้ำหนักบรรทุก
- $i_c$  = ตัวประกอบเนื่องจากความเอียงของน้ำหนักบรรทุก สำหรับเทอม  $q_c$
- $i_q$  = ตัวประกอบเนื่องจากความเอียงของน้ำหนักบรรทุก สำหรับเทอม  $q_q$
- $i_\gamma$  = ตัวประกอบเนื่องจากความเอียงของน้ำหนักบรรทุก สำหรับเทอม  $q_\gamma$
- $K_d$  = ตัวประกอบเนื่องจากความลึกของฐานราก
- $K_{py}$  = Passive earth pressure coefficient
- $ksc$  = หน่วยความดัน กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- $LL$  = ชีตจำกัดความเหลว (Liquid Limit)
- $L'$  = ความยาวของฐานรากที่ปรับแก้แล้ว เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเอียงศูนย์
- $M$  = ค่าคงที่ซึ่งมีผลมาจากเทอม  $N_c$  และ  $N_q$
- $mm$  = มิลลิเมตร
- $m$  = เมตร
- $m^2$  = ตารางเมตร
- $m^3$  = ลูกบาศก์เมตร
- $N$  = SPT - N Value, blow/ $f_t$  ที่ปรับแก้แล้ว
- $N'$  = SPT - N Value, blow/ $f_t$  ที่ทดสอบได้ในภาคสนาม
- $N_c, N_q, N_\gamma$  = ตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก, Bearing capacity factors สำหรับ General Shear failure

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

|                         |   |                                                                                                                              |
|-------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N'_c, N'_q, N'_\gamma$ | = | ตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก สำหรับ Local shear failure                                                                     |
| NC                      | = | Normally consolidated clay                                                                                                   |
| $N_m$                   | = | SPT - N Value วัดที่ความลึก $\frac{3}{4} B$ เมื่อ B เป็นความกว้างของฐานราก                                                   |
| $N_s$                   | = | ตัวประกอบความสามารถรับน้ำหนัก ซึ่งรวมผลของ Shape factor                                                                      |
| OC                      | = | Over consolidated clay                                                                                                       |
| p                       | = | Perimeter of footing                                                                                                         |
| p                       | = | ความดันประสิทธิผลเหนือจุดทดสอบ, effective over-burden pressure                                                               |
| PI                      | = | Plasticity Index                                                                                                             |
| PL                      | = | Plastic Limit                                                                                                                |
| $P_f$                   | = | หน่วยน้ำหนักบรรทุก                                                                                                           |
| $P_h$                   | = | น้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวราบขนานกับพื้นที่รับน้ำหนัก                                                                           |
| $P_v$                   | = | น้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่รับน้ำหนัก                                                                           |
| $P_o$                   | = | หน่วยน้ำหนักบรรทุก                                                                                                           |
| q                       | = | ความดันใต้ฐานรากที่มีพื้นที่ A เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก                                                                        |
| $\bar{q}$               | = | น้ำหนักบรรทุกบนผิวหน้า                                                                                                       |
| $q_a$                   | = | ความสามารถรับน้ำหนักของดินที่ยอมให้, allowable bearing capacity                                                              |
| $q_c, q_q, q_\gamma$    | = | ความสามารถรับน้ำหนักอันเนื่องมาจาก แรงยึดเหนี่ยวของดิน<br>overburden pressure และเนื่องจากน้ำหนักตัวเองของมวลดิน<br>ตามลำดับ |
| $q_s$                   | = | ความสามารถรับน้ำหนักของดิน เมื่อเกิดการทรุดตัว s นิ้ว                                                                        |
| $q_{ult}$               | = | ความสามารถรับน้ำหนักประลัยของดินสำหรับฐานรากตัน                                                                              |
| $q_o$                   | = | หน่วยแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของดินที่ความลึก $D_f, q_o = \gamma D_f$                                                           |



สัญลักษณ์ (ต่อ)

- $q_1$  = ความสามารถรับน้ำหนักของดินเมื่อเกิดการทรุดตัว 1 นิ้ว
- $R$  = รัศมีของระนาบพิบัติส่วนที่เป็นโค้งวงกลม
- $R_1$  = ตัวประกอบลดค่าของความสามารถรับน้ำหนักเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์กลาง
- $r$  = รัศมีของส่วนโค้งกันหอยที่มุม  $\theta$  ใด ๆ เมื่อมุมระหว่าง  $r_0$  กับ  $r$  มีค่าเท่ากับ  $\theta$
- $r_0$  = รัศมีของส่วนโค้งกันหอย เมื่อเริ่มต้น
- $s$  = Shape factor
- $s_c, s_q, s_\gamma$  = Shape factor สำหรับเทอม  $q_c, q_q$  และ  $q_\gamma$  ตามลำดับ
- $S$  = Perimeter shear
- $S$  = การทรุดตัว settlement
- $S_u$  = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ, Undrained Shear strength
- $T$  = ตัน (หน่วยวัดน้ำหนัก)
- U-Test = Unconsolidated undrained test
- $V$  = น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้ง
- $W$  = ตัวประกอบลดค่าความสามารถรับน้ำหนักเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน
- $\phi$  = มุมเสียดทานภายใน (Angle of internal friction)
- $\phi'$  = มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล
- $\phi_b$  = มุมเสียดทานภายในของดิน หาค่าจาก  $N_s$
- $\phi_c$  = มุมเสียดทานภายในของดิน ประมาณค่าจากการทดสอบ Triaxial
- $\phi_D$  = มุมเสียดทานภายในของดิน ประมาณค่าจาก Direct Shear Test
- $\phi_p$  = มุมเสียดทานภายในของดิน ประมาณค่าจากสัมภาครความสามารถรับน้ำหนัก
- $\theta$  = มุมระหว่าง  $r_0$  กับ  $r$

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

|               |   |                                                                            |
|---------------|---|----------------------------------------------------------------------------|
| $\delta$      | = | การทรุดตัว                                                                 |
| $\delta_B$    | = | การทรุดตัวของฐานรากกว้าง B                                                 |
| $\delta_b$    | = | การทรุดตัวของแผ่นรับน้ำหนักกว้าง b                                         |
| $\tau$        | = | หน่วยแรงเฉือน                                                              |
| $\sigma_n$    | = | หน่วยแรงกด                                                                 |
| $\sigma_{vo}$ | = | ความดันประสิทธิผลเหนือจุดที่พิจารณา (effective over burden pressure)       |
| $\mu$         | = | Poisson's Ratio                                                            |
| $\rho$        | = | การทรุดตัว                                                                 |
| $\xi_v$       | = | สัมประสิทธิ์ของ Rigidity Index เมื่อคิดถึงผลของความเครียดเชิงปริมาตรเฉลี่ย |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย