

การวิเคราะห์เสถียรภาพและการคาดคะเนการทรุดตัวของกำแพงกันคลื่น
บนชั้นดินอ่อน



นายอนุชิต รุติกวิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

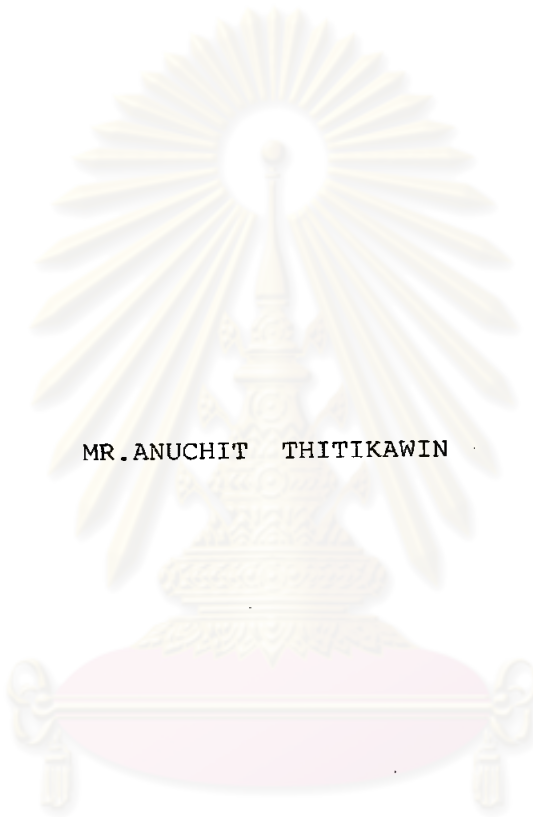
พศ. 2529

ISBN 974-566-290-9

013359

18195490

STABILITY ANALYSIS AND SETTLEMENT PREDICTION
OF BREAKWATER ON SOFT CLAY



MR. ANUCHIT THITIKAWIN

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์เสถียรภาพและการคาดคะเนการทรุดตัวของกำแพง
กันคลื่นบนชั้นดินอ่อน

โดย

นายอนุชิต ฐิติกวิน

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.ศิเรก ลาวัญศิริ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ศิเรก ลาวัญศิริ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์เสถียรภาพและการคาดคะเนการทรุดตัวของ
กำแพงกันคลื่นบนชั้นดินอ่อน

ชื่อนิสิต

นายอนุชิต ฐิติกวิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริเรก ลาวัญย์ศิริ

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา

2528



บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัญหาทางด้านเสถียรภาพ และการทรุดตัวของกำแพงกันคลื่นแบบหินทิ้ง ซึ่งมีโครงการที่จะทำการก่อสร้างเพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง เนื่องจากคลื่นน้ำในทะเลบริเวณชายฝั่งของเขตอำเภอดงตาล ไบ บริเวณปากแม่น้ำตากใบซึ่งจากการศึกษาและสำรวจทางด้านธรณีวิทยาแล้วพบว่าบริเวณนั้นมีดินชั้นบน เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน อันเป็นอุปสรรคทางด้านเสถียรภาพและการทรุดตัวของโครงสร้างเป็นอย่างมาก ส่วนชั้นล่างจะมีลักษณะชั้นทรายสลับกับดินเหนียว โดยในการศึกษานี้ได้ครอบคลุมไปถึงการศึกษาถึงคุณสมบัติของดินชั้นพื้นฐานในแต่ละชั้น แล้วนำผลของคุณสมบัติของดินนั้นมาทำการวิจัยถึงปัญหาทางด้านเสถียรภาพและการทรุดตัวของโครงสร้าง

การวิเคราะห์ปัญหาทางด้านเสถียรภาพนั้นได้คำนึงถึงกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนชั้นบนซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบ Field Vane Shear ในสนาม มาทำการประมาณหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรอน แล้วทำการปรับแก้ค่าด้วย Bjerrum's Correction ซึ่งผลที่ได้ปรับแก้ค่าแล้วได้นำมาเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเสถียรภาพต่อไป ส่วนในกรณีดินพื้นฐานที่อยู่ลึกลงไปที่เป็นชั้นดินทรายได้ใช้ข้อมูลจากการทดสอบ STANDARD PENETRATION โดยนำเอาค่า (N-Value) ที่ได้จากการทดสอบดินในชั้นทรายนำมาปรับแก้ค่า เนื่องจากผล Effective Overburden Pressure โดยวิธีการของ Peck Hanson & Thornburn (1974) แล้วจึงนำค่าที่ปรับแก้แล้วนั้นมาทำการประมาณค่ามุมเสียดทานภายในของดินชั้นทรายเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไป

ในด้านการศึกษาการทรุดตัวของโครงสร้างนั้น ได้ใช้ข้อมูลจากการทดสอบ

Consolidation มาทำการวิเคราะห์หาขนาดของการทรุดตัวที่กึ่งกลางของโครงสร้างโดยแบ่งวิธีการวิเคราะห์ออกเป็นวิธีชั้นพื้นฐาน 1 มิติ ของ Terzbgghi , วิธีของ Skempton และ Bjerrum (1957). และวิธีทฤษฎีอัสติค ในการวิเคราะห์ได้คำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินพื้นฐานใต้โครงสร้างตรงจุดกึ่งกลางเนื่องจากน้ำหนักโครงสร้าง โดยใช้ทฤษฎีของ Grey (1936) มาทำการวิเคราะห์หาขนาดของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทั้ง 3 วิธี

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านเสถียรภาพ แสดงให้เห็นว่าหากจะทำการก่อสร้างกำแพงกันคลื่นบริเวณนี้แล้วจะประสบกับปัญหาทางด้านเสถียรภาพได้ เนื่องจากมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำ และพบว่าในกรณีที่ดินพื้นฐานมีลักษณะที่แบ่งกันเป็นชั้น ๆ และกำลังของดินเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของชั้นดิน การวิเคราะห์ทางด้านเสถียรภาพควรจะใช้วิธีการของ Wedge Method ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากจะสามารถกำหนดขนาดของการพิบัติได้ค่อนข้างน่าเชื่อถือและจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คาดว่าจะเป็นไปได้ด้วย

นอกจากนี้พบว่าสำหรับโครงสร้างกำแพงกันคลื่นนี้การที่จะใช้ Geotextiles Sheet ปูไว้ในชั้นพื้นฐานนั้น ไม่สามารถจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพได้มากนัก โดยสามารถเพิ่มได้เพียง 1-2% เท่านั้นซึ่งน้อยมาก

ในการวิเคราะห์ถึงขนาดของการทรุดตัวของโครงสร้างเนื่องจากการวิจัยนี้เป็นเพียงชั้นเริ่มต้นเท่านั้นข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ได้เพียงเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อออกแบบในการก่อสร้างต่อไปเท่านั้น โดยจากผลที่ได้พบว่าเนื่องจากสภาพของชั้นดินพื้นฐาน มีชั้นดินเหนียวไม่ลึกมากนัก ดังนั้นขนาดของการทรุดตัวของโครงสร้างจึงไม่มากนัก แต่อาจเกิดปัญหาทางด้านการยุบตัวของโครงสร้างหรือวัสดุหินที่ใช้ถม แต่ปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขได้บ้างโดยการปู Geotextiles Sheet ในชั้นพื้นฐาน จากการวิเคราะห์นั้นถ้าไม่พิจารณาถึงการยุบตัวของวัสดุที่ใช้ถมแล้วจะได้ค่าของขนาดการทรุดตัวของโครงสร้าง เกิดขึ้นได้ประมาณ 15-47 ซม. ซึ่งสำหรับลักษณะของโครงสร้างประเภทนี้แล้วจะไม่ใช่ปัญหา ในการใช้ประโยชน์มากนัก แต่ในกรณีที่ต้องการจะทำการประมาณค่าการทรุดตัวให้ได้นั้น จะต้องทำการสำรวจหาข้อมูลในสนามเพิ่มเติมอีก เช่น การสร้างโครงสร้างจำลองเพื่อทดสอบและทำการวัดค่าความคืบหน้าโพรงเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นจริงภายใต้โครงสร้าง

นั้น แต่อย่างไรก็ดีเนื่องจากการกระทำดังกล่าวจะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงจึงคิดว่า การวิเคราะห์ โดยวิธีของชั้นพื้นฐาน 1 มิติ ของ Terzaghi นั้นจะเพียงพอและเหมาะสมที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ทั้งทางด้านเสถียรภาพและขนาดการทรุดตัว สามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างที่จะทำการก่อสร้าง อาจเกิดการพิบัติทางด้านเสถียรภาพ ซึ่งในการแก้ไขนั้น อาจจะทำได้โดยการสร้าง Berm ด้านข้างเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างหรือทำการขุดดินอ่อน ชั้นบนออกและใส่ดินทรายแทน เพื่อตัดปัญหาทางด้านการพิบัติที่อาจเกิดขึ้นได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Stability Analysis and Settlement prediction
of Breakwater on soft Clay

Name Mr. Anuchit Thitikawin

Thesis Advisor Professor Direk Lawunsiri

Department Civil Engineering

Academic Year 1985



ABSTRACT

In this research study about the stability and settlement problem of Rubbles Mounded Breakwater Structure for Shore Protection projec at Tak Bai river mouth, Narathiwat Province, According to soil investigation found that the top soil layer is soft clay which create the problem of stability and settement

To analysis the stabilily problem, This research use undrained Shear strength of soil from field vane shear test, and had been adjust by Bjerrum's Correction factor before using in the analysis. For the deep soil layer, which is sand, The N-Value had been foundly from Standard penetration test and had been Corrected by Method of Peck Hanson & Thornburn (1974)

To analysis the settlement of structure, The result from Consolidation test had been used to find the settlement at the centers of Structure. The method of analysis had been devided into 3 method The first method is convention one dimension method of Torzaghi, The second is Skempton & Bjerrum (1957) method and the third is elastic method. In analysis the stress distribution beneath the centerline of structure had been also calculated by the theory of grey (1936)

The result from stability analysis shown that the Construction of Breakwater Structure shall be confronted with the stability problem because of low safety factor in case of soil foundation layer and different properties, the wedge method should be used in stability analysis because the method will give the worst safe result.

In this case. The result is also shown that using geotextiles sheet can increase the stability only about 1-2%

In Settlement analysis, The value of Settlement vary from 15 to 47 cm. depend on method of analysis. The calculated settlement in this research is can be use to be guideline for preliminary study. The exact settlement shall be find out during Construction by direct measurement of excess pore water pressure

To solve the stability and settlement problem. The Construction should be add side berm to increase. The stability which can reduce the problem of possible failure.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัญศิริ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำทาง ตรวจสอบ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ได้อบรม และให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนประสบผลสำเร็จในการศึกษา

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะผู้วิจัย "โครงการพัฒนาลุ่มแม่น้ำตากใบ" ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนเพื่อการวิจัยนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่โคกภูผา ตรวจสอบแก้ไขจน วิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนระลึกถึงคุณบิดา มารดา ครูและอาจารย์ที่ได้ช่วยให้ผู้เขียนประสบผลสำเร็จใน การศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณหัวหน้า รัชชัย กลิ่นกรอง ที่ได้แนะนำผู้เขียน ตลอดจนให้ การสนับสนุนจนผู้เขียนสำเร็จการศึกษาด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณคุณพรธมา สุทธิสุวรรณ, พี่, น้องและเพื่อน ๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุชิต รุติกวิน



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
กิตติกรรมประกาศ	ณ
สารบัญ	ญ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ด
บท	
1. บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย	5
2. ทฤษฎีและผลงานในอดีต	7
2.1 แนวความคิดพื้นฐาน	7
2.2 หลักการทั่วไปในการออกแบบกำแพงกันคลื่น	7
2.2.1 แรงเนื่องจากคลื่นน้ำ	10
2.3 กำลังรับแรงเฉือนแบบอนันต์ของดินฐานราก	11
2.3.1 วิธีการของ Bjerrum	12
2.3.2 วิธีแบบ Recompression	12
2.4 เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไคอะแกรม p และ q	17
2.5 การกำหนดจุดพิบัติ (Failure Criteria) จากการทดสอบดิน	18
2.6 คุณสมบัติของดินทรายจากการทดสอบ SPT-TEST	20
2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N และ Compressibility ของทราย	21
2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N และคามุมเสียดทานภายใน	25
2.7 การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันคลื่น	25

	หน้า
2.7.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพอันเนื่องมาจากการพิบัติเป็นแบบ ส่วนโค้งของวงกลม	25
2.7.1.1 วิธีของ FELLENIUS (SWEDISH METHOD)	25
2.7.1.2 วิธีของ BISHOP	28
2.7.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพอันเนื่องมาจากการพิบัติแบบ ไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม	29
2.8 ความสัมพันธ์ของเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงความเค้นในดิน ..	31
2.9 ข้อจำกัดในการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยวิธี Total Stress Analysis	32
2.10 การวิเคราะห์การทรุดตัวของกำแพงกันคลื่นแบบหินทิ้ง	34
2.10.1 ลักษณะการทรุดตัวของชั้นดิน	34
2.10.1.1 การทรุดตัวแบบทันทีทันใด	34
2.10.1.2 การทรุดตัวที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา	34
2.11 การวิเคราะห์การทรุดตัววิธีพื้นฐาน 1 มิติ	38
2.11.1 การทรุดตัวจากผลของ Consolidation Proecss .	38
2.11.2 การทรุดตัวจากผลของ Secondary Compression	40
2.12 การวิเคราะห์การทรุดตัววิธี Skempton & Bjerrum (1957) .	41
2.13 การวิเคราะห์การทรุดตัววิธีอีลาสติค (Elastic Method)	43
2.14 สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุล	44
2.15 การกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution)	49
2.15.1 วิธีของ Grey (1936)	49
2.16 แรงค้ำน้ำโพรงเพิ่ม (Excess pore pressure)	51
2.16.1 วิธี Conventional	51
2.16.2 วิธี Tavenas (1979)	54
2.17 คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของดิน (Compressibility)	55
2.17.1 วิธีการหาค่า C_v	56
2.18 หน่วยแรงสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure)	59
2.19 การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัว (Rate of consolidation) .	61

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
2.20 Geotextiles Sheet	66
2.20.1 ผลของ Geotextiles Sheet ต่อเสถียรภาพ ของกำแพงกันคลื่น	66
2.20.2 ผลของ Geotextile ต่อการทรุดตัวของกำแพงกันคลื่น	70
3. การทดสอบดิน	71
3.1 สถานที่เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิจัย	71
3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดินในสนาม	71
3.1.2 วิธีการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน	73
3.2 การทดสอบดินในสนาม	74
3.2.1 การทดสอบ Standard Penetration ตามมาตรฐาน ASTM-D1 588-67	74
3.2.2 การทดสอบ Vane Shear	74
3.3 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ	81
3.3.1 การทดสอบหาคคุณสมบัติพื้นฐานของดิน	81
3.3.2 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (One-Dimensional Consolidation Test)	81
3.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของดินด้วยเครื่อง ไตรแอกเซียล (Triaxial Compression Test) ..	83
3.3.3.1 การทดสอบหาลังรับแรงกดอัดตัวคายน้ำ วิธี k_0 ในสภาพไม่ระบายน้ำ พร้อมวัดค่า ความดันน้ำในโพรงดิน	83
3.3.3.2 การทดสอบ UU-TC Test (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)	85
4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	89
4.1 ผลการเจาะสำรวจดินในสนาม	89
4.2 ผลการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ	92
4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน	93
4.2.2 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ	93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3	ผลการทดสอบหากล้างรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำ ของดินในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)	104
4.2.4	ผลการทดสอบหากล้างรับแรงกดของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำ ในสภาพอันเดรน (Ko - Consolidated Undrained Triaxial Compression Test With Pore Pressure Measurement , CKoU - TC Test)	104
4.3	ผลการทดสอบดินในสนาม	107
4.3.1	ผลการทดสอบ Field Vane Shear	107
4.3.2	ผลการทดสอบ Standard Penetration(SPT-Test)	116
4.4	การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis)	118
4.4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ	118
4.4.2	รูปแบบในการวิเคราะห์	119
4.4.3	เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์	120
4.4.4	วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์	120
4.4.5	ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ	124
4.4.6	ผลของเสถียรภาพเมื่อปูชั้นพื้นฐานด้วย Geotextiles ..	142
4.5	การวิเคราะห์การทรุดตัว (Settlement Analysis)	149
4.5.1	การวิเคราะห์หาขนาดการทรุดตัวโดยวิธีชั้นพื้นฐาน 1 เมตร .	158
4.5.2	การวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีอิลาสติก	159
4.5.3	การวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธี Skempton & Bjerrum (1957)	161
4.6	ผลเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวรวมจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี	164
4.6.1	การทรุดตัวแบบทันทีทันใด (Immediate Settlement)...	164
4.6.2	การทรุดตัวเนื่องจากเวลา(Consolidation Settlement)	154
4.6.3	การทรุดตัวครั้งที่ 2 (Secondary Consolidation) ..	168
4.6.4	การทรุดตัวรวม	168
4.7	การวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัว (Rate of Consolidation)..	168

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	173
5.1 ลักษณะของดินบริเวณที่ทำการวิจัย	173
5.1.1 กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนชั้นบน	173
5.1.2 กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ CB	173
5.2 เสถียรภาพของ Breakwater Structure	174
5.3 การทรุดตัวของ Breakwater Structure	175
5.4 การวิเคราะห์หาอัตราทรุดตัว	176
5.5 ข้อเสนอแนะ	177
เอกสารอ้างอิง	178
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบคอนโซลิดেশัน (Consolidation Test)	184
ภาคผนวก ข. ผลการเจาะสำรวจทางธรณีวิทยา	193

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	พารามิเตอร์ a,k,v,w (after Schultze & Moussa, 1961)	23
2-2	พารามิเตอร์ c1 และ c2 สำหรับดินชนิดต่าง ๆ (After Schultza & Menzenbach, 1961).....	24
2-3	แสดงค่า α จากสมการ $\mu = A + (1-A)$ จาก Skmpton & Bjerrum (1957).....	45
2-4	แสดงค่าพารามิเตอร์ของ Skempton(A) สำหรับที่ประวัตินวดยแรงต่าง ๆ....	45
2-5	ค่า $E_u/S_u(2)$ สำหรับดินเหนียว (DM-7).....	57
2-6	ค่า E_s/N สำหรับ Cohesionless Soil.....	57
2-7	แสดงความเหมาะสมในการใช้ Geotextiles เพื่อประโยชน์ในงานต่าง ๆ.....	67
3-1	ผลการทดสอบ Field Vana Shear.....	80
3-2	รายการทดสอบคุณสมบัติดินจากหลุมเจาะ BH-3 และ BH-4.....	88
4-1	SUMMARY OF SOIL CHARACTERISTICS.....	97
4-2	แสดงคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของดินเหนียวแต่ละชั้น.....	98
4-3	แสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ จากการทดสอบ OEDOMETER.....	99
4-4	แสดงผลการทดสอบ CKOU-Triaxial Compression Test จาก OC Clay และ NC Clay.....	114
4-5	แสดงค่ากำลังของดินในหน่วยแรงประสิทธิผล.....	115
4-6	แสดงตัวอย่างผลของข้อมูลต่าง ๆ ที่ใส่ในคอมพิวเตอร์.....	125
4-7	ตัวอย่างการใส่ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธี Fellenius และ Bishop Simplified Method ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	126
4-8	แสดงตัวอย่างของผลการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยคอมพิวเตอร์.....	127
4-9	แสดงผลการวิเคราะห์เสถียรภาพจากวิธี FELLENIUS และ BISHOP เมื่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เปลี่ยน.....	143
4-10	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเมื่อปูชั้นพื้นฐานด้วย Geotextile Sheet.....	144

ตารางที่

หน้า

4-11	แสดงผลเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแต่ละวิธี.....	146
4-12	แสดงตัวอย่างของคุณสมบัติของ Geotextiles Sheet.....	148
4-13	แสดงผลของการคำนวณหาการกระจายของหน่วยแรงควยวิธีของ Grey (1936) Slop 1:1.5	152
4-14	แสดงผลการวิเคราะห์หาการกระจายของหน่วยแรงกลางแนว Breakwater Structure โดยวิธีของ Poulos (1967 b) slop 1:1.5.....	154
4-15	แสดงผลการคำนวณการกระจายของหน่วยแรงจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Grey (1936) Slop 1:2.....	155
4-16	แสดงผลการวิเคราะห์หาการกระจายของหน่วยแรงกลาง Breakwater Structure โดยวิธีของ Poulos (1967 b) slope 1:2.....	156
4-17	แสดงการคำนวณการทรุดตัวโดยวิธีชั้นพื้นฐาน 1 มิติ.....	165
4-18	แสดงผลการคำนวณการทรุดตัวโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติค.....	166
4-19	แสดงผลการคำนวณการทรุดตัววิธี Skempton และ Bjerrum (1957).....	167
4-20	แสดงการเปรียบเทียบขนาดการทรุดตัวจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	169
4-21	แสดงการวิเคราะห์หาอัตราทรุดตัวโดยวิธีชั้นพื้นฐาน 1 มิติ.....	170

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	แสดงบริเวณที่ทำการวิจัย	2
1-2	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ทำการวิจัย	3
2-1	แสดงรูปแบบต่าง ๆ ของ Breakwater Structure	8
2-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Bjerrum's Correction Factor กับค่า Plasticity Index ได้มาจากการทำ Embankment Failures.....	13
2-3	ความสัมพันธ์ของระบบของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นใต้เขื่อนกันคลื่นกับการทดสอบดิน ในห้องปฏิบัติการ.....	14
2-4	แสดงความสัมพันธ์ของระบบหน่วยแรงและทางเดินของหน่วยแรงจากการทดสอบ ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการต่าง ๆ.....	14
2-5	แสดงการทดสอบ Triaxial Compression แบบต่าง ๆ.....	16
2-6	แสดงผลการทดสอบ UU, CU Triaxial Compression Test.....	19
2-7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CR กับค่า N ในทราย (After Hough, 1957).....	22
2-8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ 1/mv (After Schultze & Melzer, 1965).....	22
2-9	ค่าปรับแก้ของค่า N-Value เนื่องจาก Effective Overburden Pressure.....	26
2-10	ความสัมพันธ์ของ SPT-N Value กับ Bearing capacity Factors และ Angle of Shearing Resistance.....	26
2-11 (ก)	แสดงการพิบัติต่าง ๆ	27
2-11 (ข)	แสดงแรงที่กระทำกับชั้นมวลดินตามวิธีของ Bishop Simplified Method.....	27
2-11 (ค)	แสดงแรงที่กระทำกับชั้นมวลดินตามวิธีของ Fellenius.....	27
2-12	แสดงตัวอย่างการคำนวณโดยวิธี Wedge.....	30
2-13	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า Shear Stress, Pore Pressure และ Factor of Safety สำหรับพื้นฐานดินอ่อนใต้เขื่อนกันคลื่น (After Bishop & Bjerrum, 1960).....	33
2-14	Settlement Ratio V.S Applied Stress Ratio สำหรับ Strip Load กระทำบน Isotropic Homogeneous Foundation (จาก D'Applonia et at, 1971).....	36

2-15	ความสัมพันธ์ระหว่าง Initial Shear Stress V.S. Over Consolidation Ratio.....	37
2-16	หลักการคำนวณการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคาน้ำ.....	39
2-17	Factor ต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Compression.....	42
2-18	วิธีการคำนวณการทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Compression.....	42
2-19	Correction Factor for pore pressure Set up Under a foundation, after Skempton and Bjerrum (1956).....	44
2-20	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta u / \Delta \sigma_v$ และ OCR จาก LEE(1983).....	44
2-21	Strip Curves สำหรับ ρ_x (Davis & Poulos, 1967).....	47
2-22	Strip Curves สำหรับ ρ_z (Davis & Poulos, 1967).....	47
2-23	ความสัมพันธ์ของ K_o กับ OCR ของ Haneý Sensitive Clay ระหว่างการ Unloading และ Reloading (Campanella และ Valid,1972).....	50
2-24	ค่าสัมประสิทธิ์ m ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่า K_o และ OCR กับ Plasticity Index, (Ladd,1975).....	50
2-25	แสดง Strip Curves สำหรับ θ ที่ค่า v ต่าง ๆ.....	52
2-26	แสดง Strip Curve สำหรับ σ^2 ที่ค่า v ต่าง ๆ.....	53
2-27	แสดงกราฟหาค่า T_{90}, t_{90} จากทฤษฎีและการทดลองวิธีกรวดที่ส่องของเวลา....	58
2-28	แสดงกราฟหาค่า T_{100}, t_{50} จากทฤษฎีและการทดลองวิธีลอกการวิ่มของเวลา...60	60
2-29	อัตราการทรุดตัวเนื่องจากการ Consolidation สำหรับ Vertical Drainage เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทันที.....	62
2-30	T2D V.S. U สำหรับ Plane Strain Consolidation โดยมี Double Drainage และ Isotropic Permeability (จาก Lacasse, et.al,1975)62	62
2-31	อัตราการทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Triaxial จาก Davis และ Poulos, (1963).....	63
2-32	α V.S. K_h/K_v : U =50%, 70% และ 85% (จาก Lacasse et al,1975).....	64
2-33	Alpha Factor V.S. Permeability Ratio สำหรับ Plane Strain Consolidation U=10% และ 30% (จาก Lacasse et at,1975).....	65
2-34	แสดงรูปแบบการคำนวณเสถียรภาพเนื่องจากปูพื้นฐานด้วย Geotextiles Sheet.69	69

รูปที่	หน้า
2-35	แสดงการทรุดตัวเนื่องจากการยึดตัวของ Geotextiles Sheet.....69
3-1	แสดงตำแหน่งการเจาะสำรวจและการทดสอบทางปรูฟวิศกรรม.....72
3-2	แสดงผลการทดสอบ STANDARD PENETRATION จากการเจาะสำรวจดินบริเวณชายฝั่งทะเล.....75
3-3	แสดงส่วนประกอบของ Geonor Vane.....79
3-4	แสดงเครื่องทดสอบแบบ Consolidation.....82
3-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Cell Pressure กับ Required Weight to Balance Cell Pressure ในการทดสอบ CKOU.....86
4-1	แสดงลักษณะชั้นดินบริเวณชายฝั่งทะเล.....90
4-2	แสดงลักษณะชั้นดินบริเวณปากแม่น้ำตากใบ.....91
4-3	แสดง Boring logs ของดินจากหลุมเจาะ BH-3.....94
4-4	แสดง Boring logs ของดินจากหลุมเจาะ BH-4.....95
4-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_{α} กับ Stress Ratio.....102
4-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CR กับ C_{α}103
4-7	ความสัมพันธ์ Deviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ CKOU-TC Test.....108
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$ กับ Axial Strain, ϵ_v % จากการทดสอบ CKOU-TC Test.....110
4-9	Normalized Excess pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ CKOU-TC Test.....111
4-10	Stress path และ Strength Envelope จากการทดสอบ CKOU-TC Test.112
4-11	แสดงผลการประเมินค่ากำลังของดินจาก Vane Shear Strength และ ความมึนเสียดทานภายในจาก Standard Penetration Test.....117
4-12	แสดงรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....121
4-13	แสดงรูปแบบที่ 1 และเงื่อนไขที่ 1,2 ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์.....122
4-14	แสดงรูปแบบที่ 2 และเงื่อนไขที่ 1,2 ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์.....123
4-15	แสดงข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของ Breakwater Structure โดยใช่โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....128

รูปที่	หน้า
4-16	รูปแบบพิบัติและค่าอัตราส่วนความปลอดภัย.....129
4-17 (ก, ข)	แสดงระนาบของการพิบัติจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Wedge สำหรับความมึนเสียดทาน ภายในหินทิ้งต่าง ๆ เมื่อมีความลาดเอียง 1:1.5 และ 1:2.....138
4-18	แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยกับความมึนเสียดทานของหินทิ้งและ ระดับน้ำจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Wedge สำหรับความลาดเอียง 1:1.5.....140
4-19	แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยกับความมึนเสียดทานของหินทิ้งและ ระดับน้ำจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Wedge สำหรับความลาดเอียง 1:2.....141
4-20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความมึนเสียดทานของหินทิ้งกับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FELLENIUS และวิธี BISHOP.....143
4-21	แสดงรายละเอียดของรูปแบบของ Geotextiles Sheet.....147
4-22	ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดการทรุดตัว.....150
4-23	แสดงวิธีการหาการกระจายของหน่วยแรงภายในดิน Grey (1936).....151
4-24, 4-25	แสดงการกระจายของหน่วยแรงตามความลึกของชั้นดินสำหรับ Breakwater Structure ที่มีความลาดเอียง 1:1.5 และ 1:2.....153
4-26	แสดงขั้นตอนสำหรับการวิเคราะห์การทรุดตัวของ Breakwater Structure โดยวิธีชั้นพื้นฐาน 1 มิติ.....160
4-27	แสดงขั้นตอนสำหรับการวิเคราะห์การทรุดตัววิธีทฤษฎีอัสติค.....162
4-28	แสดงขั้นตอนสำหรับการวิเคราะห์การทรุดตัวของ Breakwater Structure โดยวิธี Skempton และ Bjerrum (1957).....166
4-29	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการทรุดตัวกับเวลา.....171



สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่ใช้ทางค้ำปรุที่กลศาสตร์

A,B	=	พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skemton
1,Bf	=	อัตราส่วนของความดันน้ำโพรงเพิ่มต่อหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในแนวตั้ง
B	=	ความกว้างที่น้อยที่สุดของ Load Area
a	=	ระยะตัดของเส้น Envelope ของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจาก Diagram ของ \bar{p} และ q บนแกนค้ำ (q)
CIUC	=	Isotropically Consolidated Undrained TC Test
CKoU	=	Ko Consolidated-Undrained Shear Test
CR	=	Compression Ratio
C_v	=	Coefficient of Consolidation
C_α	=	Rate of Secondary Compression
C	=	หน่วยแรง ยึดเหนี่ยวประสิทธิผล
d_f	=	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) ที่จุดสุดท้าย
d_o	=	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) เมื่อ $t=0$
d_s	=	Corrected Zero point
d_{90}	=	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) เมื่อ Consolidation 90%
d_{100}	=	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด (Dial gauge) เมื่อ Consolidation 100%
D	=	Constrained Modulus
E_s	=	โมดูลัสของดิน (Modulus of Soil)
E_u	=	โมดูลัสแบบอันเดรน (Undrained Modulus)
E_s	=	โมดูลัสแบบเดรน (Drained Modulus)
ESP	=	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path)
e	=	อัตราส่วนของช่องว่างในมวลดิน (Void Ratio)
e_o	=	อัตราส่วนของช่องว่างในมวลดินเริ่มต้น (Initial Void Ratio)
F	=	แรงที่กระทำที่ node (Vector of Applied Nodal Force)
F.S.	=	อัตราส่วนความปลอดภัย (Safety Factor)
f	=	Initial Shear Stress Ratio

H	=	ความหนาของ Compressible Layer
G, G _s	=	ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง (Specific gravity of Solids)
H _d	=	ความยาวของ Drained Path
I	=	Shape Factor & Rigidity Factor
I _{st}	=	Influence Factor จาก Elastic Solution
I _f	=	Flow Index
I _l	=	Liquidity Index
K	=	สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน (Coefficient of earth pressure)
K _o	=	สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดินด้านข้างณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of earth pressure at rest)
K _o (NC), K _o (OC)	=	K _o for normally Consolidated and Over Consolidated Clay
k	=	สัมประสิทธิ์ของการไหลซึมผ่านได้ (Coefficient of permeability)
k _h , k _v	=	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำในแนวราบและแนวตั้งตามลำดับ
l	=	ความยาวของส่วนโค้งที่ฐานของ slice
LL	=	Liquid Limit
m	=	Strength Rebound Exponent
mv	=	สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Coefficient of Volume Change)
N	=	SPT-N Value
N̄	=	แรงในแนวตั้งฉาก (Normal Force)
NC	=	Normally Consolidated
NCC	=	Normally Consolidated Clay
OC	=	Over Consolidated
OCC	=	Over Consolidated Clay .
OCR	=	Over Consolidation Ratio
PI	=	Plastic Index
PL	=	Plastic Limit
p, Δp	=	หน่วยแรงกระทำที่ผิวดิน
p, p̄	=	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ และ $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$

\bar{p}_f	=	\bar{p} ณ จุดพิบัติ
q, \bar{q}	=	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ และ $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$
q_f	=	q ณ จุดพิบัติ
q_u	=	Ultimate Bearing Capacity
RR	=	Recompression Ratio
SHANSEP	=	Stress History and Normalized Soil Engineering Properties
SR	=	Settlement Ratio
S_t	=	Sensitivity
S_u	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบอเนกเริน (Undrained Shear Strength)
$S_{u(FV)}$	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบอเนกเรินจากการทดสอบ Vane Shear
TSP	=	Total Stress Path
T2D	=	Time Factor จากทฤษฎีที่พิจารณาให้น้ำไหลออกจากดินได้ในลักษณะ 2 มิติ
T_v	=	Time Factor จากทฤษฎี Terzaghi
T	=	แรงในแนวสัมผัส (Tangential Force)
TC	=	Triaxial Compression
t, t_v	=	เวลา
$T_{50\%}$	=	Time factor at Consolidation 50%
$T_{90\%}$	=	Time factor at Consolidation 90%
t_{50}	=	Time at Consolidation 50%
t_{90}	=	Time at Consolidation 90%
t_{100}	=	Time at Consolidation 100%
U	=	อัตราการยุบตัว (Average Degree of Consolidation)
u	=	ความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure)
u_o	=	Back Pressure
u_f	=	ความดันน้ำในโพรงดิน ณ จุดพิบัติ (Pore Water Pressure at Failure)
Δu	=	ความดันน้ำโพรงเพิ่ม (Excess Pore Water Pressure)
Δv	=	การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (Volume Change)
w	=	ปริมาณความชื้น (Water Content)

- w_n = ความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
 z = ระยะในแนวดิ่ง
 $\bar{\alpha}$ = มุมลาดเอียงของเส้นเอนVELOPE ของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจาก Diagram ของ \bar{p} และ q
 $\bar{\phi}$ = มุมเสียดทานประสิทธิผล (Effective Angle of Shearing Resistance)
 σ = หน่วยแรงรวม (Total Stress)
 $\Delta\sigma$ = ส่วนเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรง
 σ_{1f} = หน่วยแรงหลัก σ จุดพิบัติ (Major Principal Stress)
 σ_{3f} = หน่วยแรงรอง σ จุดพิบัติ (Minor Principal Stress)
 $\bar{\sigma}_{vo}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (In si-tu Effective Overburden Pressure)
 $\bar{\sigma}_{ho}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบตามธรรมชาติ (In si-tu Horizontal Effective Stress)
 $\bar{\sigma}_{vm}$ = หน่วยแรงทั่วมสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure)
 σ_c = ความดันน้ำในเซลล์ (Cell Pressure)
 $\bar{\sigma}_{vc}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load (Preshear Effective Vertical Stress)
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ = หน่วยแรงทั้งหมดในทิศทาง x, y, z เรียงตามลำดับ
 = Poisson's Ratio
 γ_d = ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)
 γ_T = ความหนาแน่นรวม (Total Density)
 γ_w = หน่วยน้ำหนักน้ำ
 ϵ_1 = ความเครียดในแนวดิ่ง (Axial Strain)
 ϵ_v = ความเครียดเชิงปริมาตร (Volumetric Strain)
 $\Delta\epsilon$ = ความเครียดที่เปลี่ยนไป
 θ = Bulk Stress = $\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$
 α = Alpha Factor
 α = Henkel Parameter
 δ = Unknown Nodal Displacement Vector

สัญลักษณ์ (ต่อ)

ผ

- τ = หน่วยแรงเฉือน (Shear Stress)
- $\Delta\tau$ = ส่วนเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงเฉือน
- τ_{ff} = แรงเฉือนที่พิบัติ (Shearing Strength)
- ϕ = มุมของเส้น Envelope ของกำลังรับแรงเฉือนจาก Mohr และ Coulomb (τ - σ plot)
- U = สัมประสิทธิ์การทรุดตัว (Settlement Coefficient)
- u = Bjerrum's Correction Factor
- ρ_i = การทรุดตัวแบบอั้นเดรน (Undrained Settlement)
- ρ_c = การยุบอัดตัวครั้งแรก (Primary Consolidation)
- ρ_s = การยุบอัดตัวครั้งที่สอง (Secondary Consolidation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย