

เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง
ในกรณีตลิ่งระดับน้ำอย่างรวดเร็ว



นายแสงอรุณ เก้าเอียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4329-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง
ในกรณีลดระดับน้ำอย่างรวดเร็ว



นายแสงอรุณ แก้วเอี่ยม

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

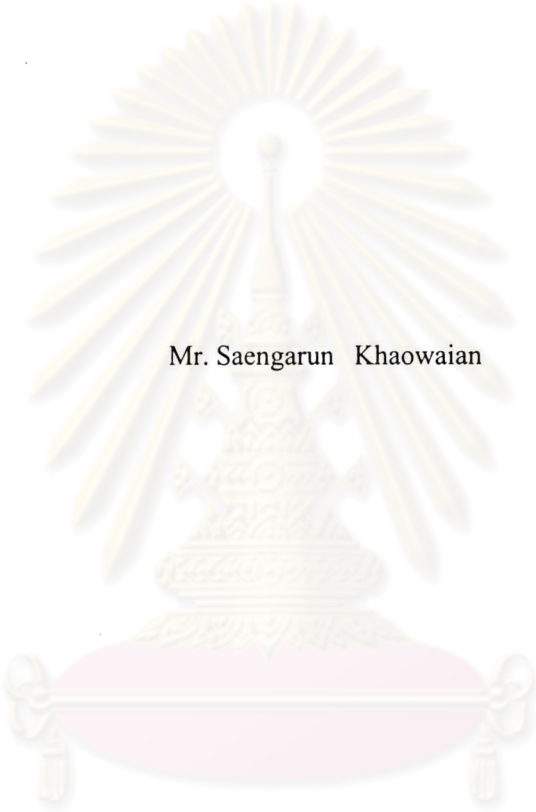
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4329-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STABILITY AND LATERAL DEFORMATION OF SOIL ON RIVERBANK OF DOWNSTREAM
BANGPAKONG DIVERSION DAM FOR CASE OF RAPID DRAWDOWN



Mr. Saengarun Khaowaian

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

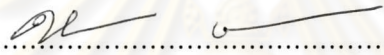
Chulalongkorn University

Academic Year 2003

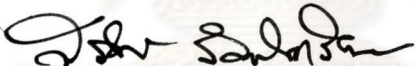
ISBN 974-17-4329-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำ
บางปะกง ในกรณีสระดับน้ำอย่างรวดเร็ว
โดย นายแสงอรุณ เก้าเอี้ยน
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. จีรวัตร บุญญะธี)

แสงอรุณ เก้าเอี้ยน : เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อน
 ทดน้ำบางปะกง ในกรณีลดระดับน้ำอย่างรวดเร็ว (STABILITY AND LATERAL
 DEFORMATION OF SOIL ON RIVERBANK OF DOWNSTREAM BANGPAKONG
 DIVERSION DAM FOR CASE OF RAPID DRAWDOWN) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร.วันชัย
 เทพรักษ์, 162 หน้า, ISBN 974-17-4329-7

การวิจัยนี้ ทำการรวบรวมข้อมูลดินและสภาพตลิ่งแม่น้ำบางปะกงบริเวณท้ายเขื่อนทอดน้ำ
 บางปะกงที่เกิดการพังทลายหลังจากการปิดประตูระบายน้ำเขื่อนทอดน้ำบางปะกง เพื่อศึกษา
 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินและสาเหตุการพังทลายตลอดจนวิเคราะห์เสถียรภาพและการ
 เคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่ง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ (Eu/Su) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ประเมินการเคลื่อนตัว
 ของดิน และหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน กับ อัตราส่วนความปลอดภัย
 ต่ำสุดของตลิ่ง

ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะของชั้นดินประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวอ่อนมาก ชั้นบนหนา
 ประมาณ 6 เมตร มีปริมาณน้ำในดินสูงกว่า 100 % อิ่มน้ำได้ดี ทำให้แรงดันของน้ำในดินสูงอยู่
 ตลอดเวลา แม่น้ำบางปะกงอยู่ติดกับทะเล ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง การพังทลายของตลิ่ง
 เกิดขึ้นเฉพาะในชั้นดินเหนียวอ่อนมากหนา 6 เมตร โดยเกิดจากการลดลงของระดับน้ำอย่าง
 รวดเร็ว เนื่องจากการปิดประตูระบายน้ำทันทีทันใด ส่งผลให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินไหล
 ย้อนกลับ ตลอดจนเนื่องจากความคดเคี้ยวของลำน้ำก่อให้เกิดการกัดเซาะ ทำให้ตลิ่งชันขึ้น

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งโดยทฤษฎี Simplified Bishop และการเคลื่อนตัวของดิน
 ด้วยวิธี ไฟไนท์อีลิเมนต์ พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Young Modulus และ กำลังรับแรงเฉือน
 ของดิน (Eu/Su) ที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 60 และ 120 สำหรับดินเหนียวอ่อนมากและดินเหนียวอ่อน
 ตามลำดับ โดยค่า Eu/Su ดังกล่าวสอดคล้องกับสภาพการพังทลายของตลิ่งที่เกิดขึ้นจริงภายหลัง
 จากการปิดประตูระบายน้ำเขื่อนบางปะกง ความสัมพันธ์ระหว่าง การเคลื่อนตัวของดินในแนวราบ
 ของตลิ่ง (δ_h , เมตร) กับ อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด (SF) คือ $\delta_h = 0.5342 SF^{-4.5908}$ สำหรับ $SF < 1.3$
 และ $\delta_h = 0.4678 SF^{-2.6448}$ สำหรับ $SF \geq 1.3$ ตามลำดับ

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อนิสิต..... 11501/11 11/10/25.....
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... อ.ดร. 11/10/25.....
 ปีการศึกษา..... 2546.....

4470623021: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: STABILITY / DEFORMATION / RAPID DRAWDOWN / BANGPAKONG

SAENGARUN KHAOWAIAN: STABILITY AND LATERAL DEFORMATION OF SOIL ON RIVERBANK OF DOWNSTREAM BANGPAKONG DIVERSION DAM FOR CASE OF RAPID DRAWDOWN. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WANCHAI TEPARAKSA, D.Eng., 162 pp. ISBN 974-17-4329-7

This research aims to study engineering properties of soil and the cause of failures along the bank of Bangpakong river in the downstream area of Bangpakong diversion dam. The soil data as well as failure condition of riverbank were investigated. The appropriate parameters (Eu/Su) is also proposed for predicting of soil displacement of riverbank related to critical safety factor of riverbank.

The result showed that the soil condition consists of 6 m. thick very soft clay having high water contents over than 100 % with high order of excess pore pressure ratio. The Bangpakong river is closed to the sea and having tidal effect. The failure of riverbank was induced in the very soft clay layer of 6 m. thick. The failure of riverbank was caused by rapid drawdown effect due to the sudden shutting down of the gate of Bangpakong diversion dam. The erosion effect due to the curvature of the river was also created the steep slope of riverbank.

The result of stability analysis of the riverbank based on Simplified Bishop theory and Finite Element Method (FEM) analysis for predicting soil displacement showed that the appropriated ratio of Young Modulus and undrained shear strength of soil (Eu/Su) is in the order of 60 and 120 for very soft clay and soft clay, respectively. This Eu/Su value agrees with the failure performance of riverbank. The relationship between lateral soil displacement of riverbank (δ_h , meter) and minimum safety factor (SF) is $\delta_h = 0.5342 SF^{-4.5908}$ for $SF < 1.3$ and $\delta_h = 0.4678 SF^{-2.6448}$ for $SF \geq 1.3$, respectively.

Department Civil Engineering
 Field of study Civil Engineering
 Academic year 2003

Student's signature Saengarun Khaowaiian.
 Advisor's signature Wanchai Teeparaksa

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลงได้ ต้องขอกราบขอบพระคุณ ความเอาใจใส่ของบิดา มารดา และครอบครัว ที่ช่วยเหลือทั้งร่างกาย แรงใจ ทุนทรัพย์ และความห่วงใยเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วันชัย เทพรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้โอกาสในการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ความรู้ คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ในปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างมากมาย ในการปฏิบัติงาน จนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาใช้เวลา และให้คำแนะนำ รวมทั้งให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือ และให้ความช่วยเหลือในการวิจัย ซึ่งต้องใช้ทั้งอุปกรณ์ และสถานที่ ในการปฏิบัติงาน จนงานสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัทโปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแทนส์ จำกัด ที่อำนวยความสะดวกในการศึกษาและเก็บข้อมูล ณ สถานที่ก่อสร้าง จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ รุ่นพี่ และเพื่อนๆทุกท่าน ในความเป็นเพื่อนร่วมงาน ในความช่วยเหลือ ในการเป็นผู้รับฟัง และให้คำแนะนำดี ๆ เสมอมา รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้เอ่ยถึงในที่นี้ ที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ถ
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีการวิเคราะห์และผลงาน ในอดีตที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพ.....	5
2.2 แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพ.....	6
2.2.1 ข้อจำกัดทางด้านสมดุลย์ [Limiting Equilibrium].....	6
2.3 หลักการในการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของคันดิน [Method of Stability Analysis]	8
2.3.1 วิธีหน่วยแรงรวม [Total Stress Analysis].....	10
2.3.2 วิธีหน่วยแรงประสิทธิผล [Effective Stress Analysis].....	10
2.4 คันดินธรรมชาติ [Natural Slope].....	11
2.5 ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน [Shear Strength].....	13
2.5.1 การทดสอบในสนาม [Field Test].....	13
2.5.2 การทดสอบในห้องทดลอง (Laboratory Test).....	13
2.5.3 กำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคันดิน.....	14
2.5.4 การเลือกค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในการวิเคราะห์.....	15
2.5.4.1 การใช้ข้อมูลจากการทดลอง.....	15

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.4.2 การใช้ข้อมูลจากการทดลองในสนาม.....	16
2.6 แรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure)	16
2.6.1 กรณี Steady Seepage	16
2.6.2 Rapid Drawdown.....	17
2.6.3 Artesian Pressure.....	19
2.7 สาเหตุการวิบัติของคันดินธรรมชาติ	19
2.8 ชนิดของการเคลื่อนตัวของคันดิน	22
2.9 การวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด (Slope Stability Analysis)	23
2.9.1 วิธี Fellenius (1927) หรือ วิธี Swedish, Ordinary Method of Slice.....	25
2.9.2 วิธี Simplified Bishop Method of Slice (1955).....	26
2.10 การคาดคะเนการเคลื่อนตัวของด้านข้างของตลิ่ง.....	27
2.10.1 คำนิยามทั่วไปของ Stress และ Strain	28
2.10.1.1 Elastic strain.....	29
2.10.2 การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวมโดยใช้พารามิเตอร์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล (Undrained Analysis with Effective Stress Parameters)	29
2.10.3 การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวมโดยใช้พารามิเตอร์แบบหน่วยแรงรวม (Undrained Analysis with Total Stress Parameters).....	29
2.10.4 แบบจำลองของ Mohr-Coulomb.....	30
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	32
3.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน	32
3.1.1 การเจาะสำรวจดิน (Soil Exploration).....	32
3.1.2 การทดสอบในสนาม (In-situ Test)	34
3.1.2.1 การทดสอบแรงเฉือนดินในสนาม (Field Vane Shear Test, FV)	35
3.1.2.2 การทดสอบการตอกมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT)	35
3.1.2.3 การวัดระดับน้ำใต้ดิน (Piezometer).....	35
3.1.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Testing).....	35
3.1.3.1 การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐาน.....	35
3.1.3.2 การทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรม.....	35

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1.3.2.1 การทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compression Test, UC)	36
3.1.3.2.2 การทดลอง ไตรแอกเซียล (Triaxial Test)	36
3.1.3.2.2.1 การจัดตัวอย่างเข้าที่ทดสอบ (Set-up of Specimen)	36
3.1.3.2.2.2 การทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation of Specimen)	38
3.1.3.2.2.3 การอัดตัวคายนํ้าแบบไอโซโทรปี้ (Isotropic Consolidation)	38
3.1.3.2.2.3 การเพิ่มแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่าง	39
3.2 การดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ	39
3.3 การศึกษาด้านการพังทลายของตลิ่ง	40
3.4 การดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่ง	41
3.4.1 การรวบรวมข้อมูลชั้นดิน ตำแหน่ง และรูปตัดลํานํ้าของบริเวณที่มีการพังทลายของตลิ่ง	41
3.4.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่ง โดยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure)	41
3.4.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่ง โดยวิธี (Finite Element Method, FEM)	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	42
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	42
4.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดิน	42
4.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรม	44
4.1.2.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบในสนาม	44
4.1.2.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Strength, S_{uFV})	44
4.1.2.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติดินที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT	45
4.1.2.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ	45

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.2.2.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compression Test, UC)....	45
4.1.3 ผลการวัดระดับน้ำใต้ดิน (Piezometer)	45
4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในห้องปฏิบัติการบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	50
4.3 ผลการศึกษาด้านการพังทลายของตลิ่ง	51
4.3.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาและปัจจัยที่ทำให้เกิดการพังทลายของตลิ่งในพื้นที่โครงการ	55
4.3.1.1 การพังทลายตามธรรมชาติ	58
4.3.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ.....	59
4.3.1.1.2 ความลาดชันของตลิ่งและสภาพของสิ่งก่อสร้างเพื่อป้องกันตลิ่งที่มีอยู่	61
4.3.1.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชันของตลิ่งตามธรรมชาติ	61
4.3.1.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงจากความชันของตลิ่งจากการกระทำของมนุษย์ 63	
4.3.1.2 การพังทลายเนื่องจากการปิด-เปิดประตูระบายน้ำ.....	64
4.3.1.2.1 ทางด้านชลศาสตร์.....	64
4.3.1.2.2 การลดลงของระดับน้ำทันทีทันใด (Rapid Drawdown)	64
4.4 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่ง.....	66
4.4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลชั้นดินตำแหน่งและรูปตัดลำน้ำของบริเวณที่มีการพังทลายของตลิ่ง.....	66
4.4.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งโดยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure)	67
4.4.3 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งโดยวิธี Finite Element Method (FEM)	69
4.4.3.1 แนวทางในการวิเคราะห์.....	69
4.4.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของดินและตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้อง.....	70
4.4.3.2.1 กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength).....	70
4.4.3.2.2 สัมประสิทธิ์แรงคั้นด้านข้างแบบสถิต.....	71
4.4.3.2.3 ค่าโมดูลัสของดิน(Soil Modulus).....	72

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4.4 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างก่อนการพังทลายและ หลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่ง บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	77
5.1 สรุปผลการวิจัย	77
5.1.1 การพังทลายของตลิ่งแม่น้ำบางปะกง.....	77
5.1.2 เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่ง.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
รายการอ้างอิง	79
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก รายละเอียดของแผนผังแสดงตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ การทดสอบแรง เฉือนในสนาม และการติดตั้ง Standpipe Piezometer บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำ บางปะกง.....	84
ภาคผนวก ข แสดงลักษณะและค่าคุณสมบัติของชั้นดินของหลุมเจาะแต่ละหลุมของตลิ่ง บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	94
ภาคผนวก ค ตำแหน่งของรูปตัดตลิ่งบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	117
ภาคผนวก ง รูปร่างหน้าตัดทั้งก่อนและหลังการพังทลายของตลิ่งบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบาง ปะกง	123
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure) ของตลิ่งบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	129
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวโดยวิธี Finite Element Method (FEM) ของตลิ่งบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	135
ภาคผนวก ช ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับ การเคลื่อนตัว (Displacement) บริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกงทดน้ำ บางปะกง.....	156
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	162

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1	การเลือกตัวประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ (Lambe, 1987).....9
3.1	ตัวอย่างดินที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการทางด้านคุณสมบัติชั้นพื้นฐานและคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดิน.....40
4.1	คุณสมบัติชั้นพื้นฐานของลักษณะชั้นดินในแต่ละชั้น.....43
4.2	คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของลักษณะชั้นดินในแต่ละชั้น.....46
4.3	คุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินของแต่ละตัวอย่างดิน51
4.4	แสดงความแตกต่างของผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน.....52
4.5	ตำแหน่งและรูปตัดของตลิ่งที่สามารถจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาเสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของตลิ่ง 5 ตำแหน่ง.....66
4.6	ลักษณะชั้นดิน ค่าพารามิเตอร์และคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์67
4.7	ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่ง โดยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure).....69
4.8	ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่ง โดยวิธี Finite Element Method (FEM).....73
4.9	ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวทั้งก่อนและหลังการพังทลาย บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....74

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1	โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง..... 1
1.2	แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่มีคลังพังทลายท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง 3
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัว เมื่อเปรียบเทียบที่หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งเดียวกัน (Skempton, 1985) 14
2.2	แสดงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นสำหรับการพิบัติของปัญหาเสถียรภาพ ในกรณีรอยผิวดินพิบัติเป็นรูปลิ้ม หรือ ส่วนโค้ง (Ladd and Koutsoftas, 1985, Lass and Foott, 1974) 15
2.3	การคำนวณปัญหาเสถียรภาพ ในกรณีมีการไหลแบบ steady seepage (Hough, 1957) 18
2.4	การหาความดันน้ำในโพรงดิน สำหรับการไหลแบบ steady seepage ในทิศทางขนานกับมวลลาด (Lambe, 1979) 19
2.5	สมมุติฐานการหาแรงดันน้ำในโพรงดิน ในกรณี Repid draw (Hough, 1957) 20
2.6	การวิบัติของดินเหนียวแบบ Mass movement และ Multiple complex landside (Chodhyry, 1978)..... 23
2.7	รูปแบบลักษณะการวิบัติของเชิงลาด (Mode of Failure)..... 24
2.8	ลักษณะการวิบัติของเชิงลาด แบบส่วน โค้งของวงกลม 24
2.9	ระบบของแรงกระทำต่อมวลดินทั้งหมดในแต่ละส่วน [Lambe, 1979]..... 25
2.10	ระบบแรงกระทำต่อมวลดินในแต่ละส่วน (Slice)..... 26
2.11	ระบบแรงกระทำต่อมวลดินในแต่ละชั้น (Slice)..... 27
2.12	แสดง Node และ Stress Point 27
2.13	แสดงระบบพิกัดและทิศทางในสามมิติ 28
2.14	พื้นฐานแบบจำลอง Elastic Perfectly Plastic 31
2.15	Yield surface ของ Mohr – coulomb ในระนาบของหน่วยแรงหลัก (c=0)..... 31
3.1	ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ การทดสอบแรงเฉือนในสนามและการติดตั้ง Standpipe Piezometer ทั้งหมด 34
3.2	เครื่องทดสอบไตรแอกเซียล..... 37
4.1	ลักษณะชั้นดินบริเวณคลังท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกงตามยาวของแม่น้ำบางปะกง..... 43
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน..... 44
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนัก กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน..... 44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกรบกวนและแบบถูกรบกวน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน	45
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT N Value กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน.....	46
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน.....	46
4.7 คุณสมบัติของชั้นดินของหลุมเจาะบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกงตามยาวของ แม่น้ำบางปะกง.....	47
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดันน้ำ กับ เวลา บริเวณตลิ่งใกล้วัดสัมประทวน..	48
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับ เวลา บริเวณตลิ่งใกล้วัดสัมประทวน.....	48
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดันน้ำ กับ เวลา บริเวณตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา	49
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับ เวลา บริเวณตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา	49
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงเฉือน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน.....	53
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมคูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ ต่อ กำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน	53
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมคูลัสของดินแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความเครียด.....	54
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วน โมคูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ ต่อ กำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความเครียด	54
4.16 ข้อมูลระดับน้ำระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2542.....	55
4.17 แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่มีตลิ่งพังทลายท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	56
4.18 รูปแสดงส่วนหนึ่งของบริเวณที่ตลิ่งพังทลายหลังจากทดสอบปิดประตูระบายน้ำระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2542	57
4.19 รูปแสดงตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการฉะเชิงเทราที่พังทลายหลังการทดลองปิดประตูระบายน้ำวันที่ 6 มกราคม 2543.....	58
4.20 ลักษณะการขึ้นลงในแม่น้ำบางปะกงในกรณีปกติ.....	59
4.21 การพังทลายของตลิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในกรณีไม่มีการเปิดดำเนินการเขื่อน โดย 2 รูปบน เป็นการพังทลายในปี 2539 ก่อนสร้างเขื่อน รูปที่3 เป็นการพังทลายในปี 2544 ช่วงที่ไม่มีการปิดเปิดเขื่อน	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.22 ตัวอย่างลักษณะของคั้งริมแม่น้ำบางปะกงในสภาพปัจจุบัน.....	61
4.23 Velocity Profile ของลำน้ำบริเวณ โคนวัดแหลมใต้.....	62
4.24 รูปตัดลำน้ำในบริเวณที่โคงของลำน้ำ.....	62
4.25 การปรับสภาพคั้งและสร้างโครงสร้างป้องกันคั้งตลอด 2 ฝั่งแม่น้ำบางปะกง.....	63
4.26 แสดงระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งกรณีเปิดบานประตูและระหว่างปิด บานประตูระบายน้ำ.....	64
4.27 กลไกการเกิด RAPID DRAWDOWN.....	65
4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ m กับ PI ของดินเหนียว (Ladd et al.1977)	71
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับ การเคลื่อนตัว (Displacement) บริเวณคั้งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	76

สัญลักษณ์

A,B	=	Pore pressure Parameter
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างภายหลังการอัดตัวคายน้ำ
A_r	=	พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำภายใน โพรงดินที่จุดพิบัติ
B	=	Average width of Slide mass
C	=	ความเชื่อมแน่นของดิน
CR	=	Compression ratio
C_v	=	Coefficient of Permeability
D	=	Average depth of Slide mass
DB	=	Deep Boring
Eu	=	โมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ
$Eu_{(50)}$	=	โมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำที่ 50 % ของหน่วยแรงเฉือน
$Eu_{(100)}$	=	โมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำที่ 100 % ของหน่วยแรงเฉือน
F	=	อัตราส่วนปลอดภัย
FS	=	อัตราส่วนความปลอดภัย
FV	=	Field Vane
H	=	ความสูงของใบมีด
K	=	Earth pressive coefficient
K_h	=	สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในแนวราบ
K_u	=	Undrained strength in Extension to compression
K_v	=	สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในแนวตั้ง
LI	=	ดัชนีความเหลว (Liquidity Index)
LL	=	Liquid Limit
L_o	=	ความสูงของตัวอย่างก่อนการทดสอบ
L_1	=	น้ำหนักสำหรับกคบนตัวอย่างเพื่ออัดตัวคายน้ำ
MSL	=	Mean Sea Level
NCC	=	Normally Consolidated

N_k	=	Empirical Cone factor
N-Value	=	Standard Penetration Resistance
OCR	=	Overconsolidation ratio
OC	=	Overconsolidated
OEPP	=	สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม [Office of Environmental Policy and Planing]
PL	=	Plastic Limit
PI%	=	ดัชนีพลาสติกซิตี
R	=	Correlation factor
RID	=	กรมชลประทาน [Royal Irrigation Department]
RPP	=	Rigid Perfectly Plastic Material
RR	=	Recompression ratio
r_u	=	อัตราส่วนแรงดันน้ำในโพรงดินต่อน้ำหนักของดิน
S	=	กำลังแรงรับเหนือนของดิน
S_u	=	กำลังแรงรับเหนือนแบบไม่ระบายน้ำ
$S_{u_{cu}}$	=	กำลังรับแรงเหนือนแบบกคที่ถูกอัดตัวคายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ
$S_{u_{FV}}$	=	กำลังรับแรงเหนือนของดินในสนาม
$S_{u_{uc}}$	=	กำลังรับแรงเหนือนแบบการอัดตัวอิสระ
T	=	Torque
t_r	=	เวลาที่ใช้ในการพิบัติ
V_o	=	ปริมาณตัวอย่างก่อนการทดสอบ
Wc %	=	ปริมาณความชื้น
e_{av}	=	Average of Void Ratio
Δu	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน
q_c	=	Cone Resistance
q_u	=	Unconfined Compressive envelope

α	=	การลาดชันของ Failure envelope
ΔL_c	=	ค่าการยุบตัวของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง
ΔV_o	=	ปริมาณของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง
Δe	=	Change of Void Ratio
Δu	=	แรงดันน้ำในโพรงเพิ่ม
$\Delta \sigma$	=	Change of effective stress
$\Delta \sigma_1$	=	การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงหลัก
σ_B	=	Back pressure
σ_{1f}	=	หน่วยแรงคิ่งหลักสุดท้าย
σ_n	=	หน่วยแรงรวม
σ_v	=	หน่วยแรงรวมที่กระทำในแนวคิ่ง
σ_{v_o}	=	หน่วยแรงรวมในแนวคิ่งตามธรรมชาติ
σ_h	=	หน่วยแรงที่กระทำในแนวราบขนานกับ Slope
μ	=	ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือน
η	=	แฟคเตอร์สำหรับทิศทางการระบายน้ำ
θ	=	มุมระหว่างระนาบกรพิบัติกับระนาบราบธรรมชาติ
ϕ	=	มุมต้านทานหน่วยแรงเฉือน
γ	=	ความหนาแน่นของดิน
γ_T	=	หน่วยน้ำหนักของมวลดิน
γ_w	=	Unit weight of water
τ	=	หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น
τ_c	=	Shear resistace along active Portion
τ_d	=	Shear resistace along Passive Portion
τ_s	=	Shear resistace along Horive Portion
$U \%$	=	ค่าเฉลี่ยของการกระจายแรงดันน้ำในโพรงดิน
A	=	ระยะตัดแกนคิ่ง
σ_{hc}	=	หน่วยแรงในแนวราบสำหรับอัดตัวคายน้ำ

σ_{ho}	=	หน่วยแรงในแนวราบ จากการทับถมของน้ำหนัก
σ_{vc}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งสำหรับการอัดตัวคาน้ำ
σ_{vm}	=	หน่วยแรงสูงสุดในอดีต
σ_{vo}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในทางตั้งเนื่องจากน้ำหนักดินทับถม
ϕ_r	=	Residual friction angle
2h	=	ความสูงของตัวอย่าง
รทก.	=	ระดับน้ำทะเลปานกลาง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย