ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
250369

รหัสโครงการ SUT7-712-51-12-51

รายงานการวิจัย

แบบจำลองกายภาพขนาดย่อส่วนสำหรับศึกษาพฤติกรรมชั้นดินรองรับคันทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์
(Physical Model for Studying Performance of Cement Stabilized Ground under Embankment Loading)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
250369
600256321

รหัสโครงการ

รายงานการวิจัย

แบบจำลองกายภาพขนาดย่อส่วนสำหรับศึกษาพฤติกรรมชั้นดินรองรับคันทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์
(Physical Model for Studying Performance of Cement Stabilized Ground under Embankment Loading)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-712-51-12-51

รายงานการวิจัย

แบบจำลองกายภาพขนาดย่อส่วนสำหรับศึกษาพฤติกรรมชั้นดินรองรับคันทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์
(Physical Model for Studying Performance of Cement Stabilized Ground under Embankment Loading)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2551
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2554

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ถ้าปราศจากการช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง การกล่าวขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือให้ครบทุกท่านเป็นไปได้ยาก ผู้เขียนต้องขอขมามา ณ ที่นี้ด้วย หากมิได้กล่าวนามของท่าน

ผู้เขียนขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ณรงค์ อัครพัฒนากูล ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกและความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณคุณอานนท์ ชลภัสสรณ์ นักศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอาจารย์ ดร.จิระยุทธ สืบสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับความช่วยเหลือในงานทดสอบและการวิเคราะห์ผลทดสอบ

ท้ายสุด ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ปีงบประมาณ 2551

สุขสันติ์ หอพิบูลสุข
หัวหน้าโครงการวิจัย
เมษายน 2554

บทคัดย่อ

250369

การเสริมเสาเข็มเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อน งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการอัดตัวคายน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์ด้วยแบบจำลองกายภาพย่อส่วนแบบสมมาตรรอบแกน และการวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D Version 8.2 ผลการศึกษาพบว่าการทรุดตัวสุดท้ายและอัตราการทรุดตัวแปรผันตามสถานะความเค้น การทรุดตัวจะมีค่าน้อยลงและอัตราการทรุดตัวจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเค้นกดทับมีค่าน้อยกว่าความเค้นวิบัติ เมื่อให้น้ำหนักกดทับจนเสาเข็มเกิดการวิบัติ ความเค้นในเสาเข็มดินซีเมนต์จะลดลงและความเค้นในมวลดินจะเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันเพื่อรักษาสมดุลของแรงในแนวดิ่ง ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความดันน้ำส่วนเกิน รอยแตกในเสาเข็มดินซีเมนต์จะช่วยทำหน้าที่เป็นช่องทางระบายน้ำและทำให้ความดันน้ำส่วนเกินบริเวณใกล้เสาเข็มระบายได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่ากำลังอัดแกนเดียวของเสาเข็มดินซีเมนต์จะแปรผันตามปริมาณปูนซีเมนต์ แต่ค่าสติฟเนส ของเสาเข็มดินซีเมนต์ไม่แปรผันตามปริมาณปูนซีเมนต์ ดังนั้นปริมาณปูนซีเมนต์จึงเพียงแต่เป็นตัวควบคุมความต้านทานน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์เท่านั้น ตัวแปรหลักที่ควบคุมพฤติกรรมการอัดตัวคายน้ำคืออัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นดินเหนียวเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์ (a) ความเค้นในเสาเข็มดินซีเมนต์จะมีค่าต่ำสำหรับชั้นดินเหนียวเสริมเสาเข็มที่มีค่า a สูง ดังนั้น ชั้นดินเหนียวเสริมเสาเข็มที่มีค่า a สูงจึงเกิดการทรุดตัวต่ำและมีอัตราการทรุดตัวสูง ในทางปฏิบัติ หากสมมติให้ความดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในเสาเข็มและในดินมีความสม่ำเสมอ และการระบายความดันน้ำส่วนเกินของชั้นดินเหนียวเสริมเสาเข็มเกิดขึ้นในแนวดิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวเสริมเสาเข็ม ($c_{v(com)}$) ที่หาได้จากผลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินในห้องปฏิบัติการ ด้วยทฤษฎีของ Terzaghi สามารถนำมาใช้ประมาณระยะเวลาการทรุดตัวได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

ABSTRACT

250369

Columnar inclusion is one of the effective and widely used methods for improving engineering properties of soft clay ground. This research investigated consolidation behavior in composite soft clay ground using physical model tests under an axial-symmetry condition and finite element simulations by the Plaxis 2D program Version 8.2. This study shows that final settlement and the rate of consolidation of the composite ground depends on the stress state. For an applied stress lower than the failure stress, the settlement is less and the consolidation is fast. When soil-cement column fails, the stress on column suddenly decreases while the stress on soil increases to maintain the force equilibrium. Consequently, the excess pore pressure immediately increases. Cracks on the soil-cement columns acts as a drainage path, accelerating the dissipation of the excess pore pressure. The excess pore pressure at the position close to the soil-cement column dissipates very fast. Even though the strength of soil-cement column increases with cement content, the stiffness does not. As such, the input cement only controls the failure load on the composition ground, not the resistance to compression. The consolidation behavior is controlled by the ratio of diameter of soil-cement column to diameter of composite ground, a. The stress on column is low for the composite ground with high a, resulting in less settlement and fast consolidation. In practice, assuming that the excess pore pressures in both column and soil are uniform and the dissipation of the excess pore pressure in the composite ground is in vertical direction, the composite coefficient of consolidation ($c_{v(com)}$) obtained from the laboratory test on the composite ground based on the Terzaghi's theory can be used to approximate the rate of consolidation. This approximation is close to the finite element simulation.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาที่ทำการวิจัยและความสำคัญปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 รูปแบบการปรับปรุงดินด้วยเทคนิคการผสมลึก	3
2.2.1 รูปแบบเสาเข็ม	4
2.2.2 รูปแบบบล็อก	4
2.2.3 รูปแบบกำแพงและรูปแบบโครงถัก	4
2.2 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยว	5
2.3 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกลุ่ม	6
2.4 การทรุดตัวทั้งหมด	8
2.5 อัตราการทรุดตัว	10
2.6 พฤติกรรมของ Composite Ground ในแบบจำลองกายภาพ	16
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิเคราะห์	22
3.1 ดินตัวอย่างและวิธีการทดสอบ	22
3.1.1 ดินตัวอย่าง	22
3.1.2 วิธีการทดสอบ	22
3.2 พฤติกรรมการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์	25
3.3 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข	33

3.4 การจำลองพฤติกรรมของความดันน้ำส่วนเกินแบบระบายน้ำทางเดียว
และสองทางในชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์..... 48
3.5 การประมาณการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์จาก
ผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำในแบบจำลองย่อส่วน..... 52
56

บทที่ 4 สรุปผลการศึกษา
เอกสารอ้างอิง 58
ประวัตินักวิจัย 60

สารบัญตาราง

หน้า

3.1 เงื่อนไขการทดสอบ..... 25

3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแบบจำลองกายภาพย่อส่วน..... 34

สารบัญรูป

หน้า

2.1 รูปแบบการปรับปรุงดินด้วยเทคนิคผสมลึก (DJM group 2000)..... 3

2.2 ลักษณะการวิบัติของฐานรากเสาเข็มดินซีเมนต์ (Broms and Boman, 1975)..... 7

2.3 การคำนวณการทรุดตัวทั้งหมด (Broms and Boman, 1975)..... 9

2.4 การคำนวณการทรุดตัวทั้งหมดเมื่อน้ำหนักบรรทุกก่อให้เกิด
ความคืบในเสาเข็มดินซีเมนต์..... 10

2.5 แบบถังทดสอบ (a) รูปตัวถังทดสอบ (b) แปลนถังทดสอบ (Yin and Fang, 2006)..... 17

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 10 กิโลปาสคาล (Yin and Fang, 2001)..... 18

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 20 กิโลปาสคาล (Yin and Fang, 2001)..... 18

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 40 กิโลปาสคาล (Yin and Fang, 2001)..... 19

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 10 กิโลปาสคาล (Yin and Fang, 2001)..... 19

2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้นและระดับการอัดตัวคายน้ำกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 10 กิโลปาสคาล..... 20

2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้นและระดับการอัดตัวคายน้ำกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 20 กิโลปาสคาล..... 20

2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้นและระดับการอัดตัวคายน้ำกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 20 กิโลปาสคาล..... 21

2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้นและระดับการอัดตัวคายน้ำกับเวลา
ภายใต้น้ำหนักกดทับ 20 กิโลปาสคาล..... 21

3.1 แบบถังทดสอบ (a) แปลนถังทดสอบ (b) รูปด้านถังทดสอบ..... 23

3.2 ภาพแผนผังตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ (a) รูปตัดตามขวาง
(b) รูปตัดตามแนวดิ่ง..... 24

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับเวลา..... 25

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลา..... 26

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยระดับการอัดตัวคายน้ำกับเวลา..... 27

3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในเสาเข็มและความเค้นในดินกับเวลา..... 27
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress concentration, *n* กับเวลา..... 28
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ความเค้นกดทับ 20 กิโลปาสคาล... 28
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ความเค้นกดทับ 20 กิโลปาสคาล... 29
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ความเค้นกดทับ 20 กิโลปาสคาล.. 29
3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ความเค้นกดทับ 20 กิโลปาสคาล.. 30
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับระยะทางตามแนวรัศมี
ที่ความเค้นกดทับ 40 กิโลปาสคาล..... 31
3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับระยะทางตามแนวรัศมี
ที่ความเค้นกดทับ 80 กิโลปาสคาล..... 32
3.15 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์..... 34
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวกับเวลา
ที่ a = 1/6 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 35
3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวกับเวลา
ที่ a = 1/3 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 36
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวกับเวลา
ที่ a = 1/3 และ q_u = 500 กิโลปาสคาล..... 37
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในเสาเข็มและความเค้นในดินกับเวลา
ที่ a = 1/6 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 38
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในเสาเข็มและความเค้นในดินกับเวลา
ที่ a = 1/3 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 38
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในเสาเข็มและความเค้นในดินกับเวลา
ที่ a = 1/3 และ q_u = 500 กิโลปาสคาล..... 39
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress concentration, *n* กับเวลา
ที่ a = 1/6 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 40
3.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress concentration, *n* กับเวลา
ที่ a = 1/3 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 40
3.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress concentration, *n* กับเวลา
ที่ a = 1/3 และ q_u = 500 กิโลปาสคาล..... 41
3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ตำแหน่งต่างๆ
ที่ a = 1/6 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 42

3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ตำแหน่งต่างๆ
ที่ a = 1/3 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 43
3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับเวลา ที่ตำแหน่งต่างๆ
ที่ a = 1/3 และ q_u = 500 กิโลปาสคาล..... 44
3.28 การเปลี่ยนแปลงความดันน้ำส่วนเกินกับระยะทางตามแนวรัศมี ที่เวลาใดๆ
เมื่อกำลังอัดมีค่าเท่ากัน แต่ a มีค่าต่างกัน..... 45
3.29 การเปลี่ยนแปลงความดันน้ำส่วนเกินกับระยะทางตามแนวรัศมี ที่เวลาใดๆ
เมื่อ a มีค่าเท่ากัน แต่กำลังอัดมีค่าต่างกัน..... 46
3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับความลึก ที่เวลาต่างๆ
ที่ a = 1/6 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 47
3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับความลึก ที่เวลาต่างๆ
ที่ a = 1/3 และ q_u = 1200 กิโลปาสคาล..... 47
3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับความลึก ที่เวลาต่างๆ
ที่ a = 1/3 และ q_u = 500 กิโลปาสคาล..... 48
3.33 แบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์
ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มเท่ากับ 1.0 เมตร และยาว 15 เมตร..... 49
3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับระยะทางตามแนวรัศมี ที่เวลาใดๆ
กรณีขอบเขตระบายน้ำทางเดียวและสองทาง..... 50
3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำส่วนเกินกับความลึก ที่เวลาใดๆ
กรณีขอบเขตระบายน้ำทางเดียวและสองทาง..... 51
3.36 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์
กรณีขอบเขตระบายน้ำทางเดียวและสองทาง..... 52
3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำและความเค้นกดทับ
สำหรับ a = 1/6 และ 1/3..... 53
3.38 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์
ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร และความลึก 15 เมตร
(กรณีขอบเขตระบายน้ำทางเดียว)..... 54
3.39 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์
ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เมตร และความลึก 15 เมตร
(กรณีขอบเขตระบายน้ำทางเดียว)..... 54

3.40 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร และความลึก 15 เมตร (กรณีขอบเขตระบายน้ำสองทิศทาง)..... 55
3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เมตร และความลึก 15 เมตร (กรณีขอบเขตระบายน้ำสองทิศทาง)..... 55