การออกแบบโครงสร้างถนนชั้นผิวทางชนิดยืดหยุ่น โดยใช้วัสดุท้องถิ่นบริเวณภาคกลาง ด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์

นาย ณัฐพล ศุจิจันทรรัตน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0828-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20470764

A SURFACE DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENT SURFACES USING LOCAL MATERIALS IN THE CENTRAL REGION BY ANALYTICAL METHOD

Mr. Nattapon Sujijantararat

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 2001

ISBN 974-17-0828-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างถนนชั้นผิวทางชนิดยืดหยุ่น โดยใช้วัสดุท้องถิ่นบริเวณภาคกลาง ด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์
โดย	นาย ณัฐพล ศุจิจันทรรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย ณัฐพล ศุจิจันทรรัตน์ : การออกแบบโครงสร้างถนนชั้นผิวทางชนิดยืดหยุ่น โดยใช้วัสดุท้องถิ่นบริเวณภาคกลาง ด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์. (A SURFACE DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENT SURFACES USING LOCAL MATERIALS IN THE CENTRAL REGION BY ANALYTICAL METHOD)
อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 206 หน้า. ISBN 974-17-0828-9.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่นที่มีชั้นผิวทางเป็นวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างถนนด้วยโปรแกรม KENLAYER สามารถสรุปเป็นกราฟเพื่อใช้ในการออกแบบความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่นที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกรวดเร็วมากขึ้น

ในการศึกษาจะใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AC60/70 และมวลรวมประเภทหินปูนจากบริเวณภาคกลางของประเทศไทย นำมาทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นและทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ASTM และ AASHTO ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานขั้นต่ำที่กำหนดไว้ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตไว้แล้ว มาทำการทดสอบแรงดึงทางอ้อมเพื่อนำไปเป็นค่าความเค้นกดที่ใช้ในการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว จากการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวเฉลี่ยของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ประกอบด้วยมวลรวมประเภทหินปูนของจังหวัดต่าง ๆ ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยโมดูลัสคืนตัวที่ทดสอบได้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,000 เมกะปาสคาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อนิสิต.....ณัฐพล ศุจิจันทรรัตน์.....
สาขาวิชา .....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา ...2544.....

4170301621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: ANALYTICAL METHOD /PAVEMENT DESIGN /ASPHALT CONCRETE/CENTRAL REGION

NATTAPON SUJIJANTARARAT : A SURFACE DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENT SURFACES USING LOCAL MATERIALS IN THE CENTRAL REGION BY ANALYTICAL METHOD

THESIS ADVISOR : PROF. DIREK LAVANSIRI, Ph.D. , 206 pp. ISBN 974-17-0828-9.

The objective of this thesis is to investigate the values of resilient modulus of asphalt concrete mixtures. These values are used as data for design asphaltic concrete surface of flexible pavement by Analytical Method. The results that analysed by KENLAYER program are shown by design charts for easily derive the depth of asphaltic concrete surface of flexible pavement at various volume of vehicles.

In this study, asphalt cement penetration grade AC60/70 and limestone aggregate from central region in Thailand were utilized. Testing these materials for fundamental properties and performance properties for mixes at optimum asphalt content achieved by the Marshall mix design method following standards of Department of Highways Thailand , ASTM and AASHTO that the results of tests are passed. Next test is Indirect Tensile test for compute compression stress using in Resilient Modulus test. The results of these tests show that the average of Resilient Modulus of asphaltic concrete using limestone aggregate from several provinces in central region are nearly equal and these average values are about 1,000 Megapascal (MPa)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department……CIVIL..ENGINEERING… Student's signature……นัฐพล ศุภินทรสิทธิ์……

Field of study….CIVIL..ENGINEERING… Advisor's signature……Direk Lavansiri……

Academic year ...2001……..…

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ 5
2.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 9
2.3 ค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุก่อสร้างทาง 13
2.4 การทดสอบวัสดุแบบแรงดึงทางอ้อม 16
2.5 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางเพื่อการออกแบบ 23
2.6 Design Criteria และ Fatigue Characteristics ของวัสดุในชั้นทาง 39
2.7 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ 47

3 วิธีการในการศึกษา 53
3.1 การเตรียมและทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 53
3.2 การเตรียมและทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวม 54
3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การหาค่าโมดูลัสคืนตัวจากการทดสอบแรงดึงทางอ้อม 57

4 วิเคราะห์ผลการศึกษา 65
4.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 65
4.2 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของมวลรวม 66
4.3 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 69
4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม 73

5 การวิเคราะห์โครงสร้างถนนโดยโปรแกรม KENLAYER 77
5.1 รายละเอียดของโปรแกรม KENLAYER 77
5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ 84
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างทาง 91

6 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ 107
6.1 สรุปผลการศึกษา 107
6.2 ข้อเสนอแนะ 109

รายการอ้างอิง 111

ภาคผนวก 115
ภาคผนวก ก. การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 116
ภาคผนวก ข. การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีต 153
ภาคผนวก ค. Design Chart สำหรับการออกแบบโครงสร้างผิวทางชนิดยืดหยุ่น แบบ Linear Elastic 160
ภาคผนวก ง. Design Chart สำหรับการออกแบบโครงสร้างผิวทางชนิดยืดหยุ่น แบบ Nonlinear Elastic 168
ภาคผนวก จ. Design Chart สำหรับการออกแบบโครงสร้างผิวทางชนิดยืดหยุ่น แบบ Viscoelastic 183
ภาคผนวก ฉ. ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างผิวทางชนิดยืดหยุ่นโดยใช้ Design Chart 198

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 206

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 หลักเกณฑ์การออกแบบโดยวิธีมาร์แชล 10
2.2 ช่วงอุณหภูมิเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 อุณหภูมิเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของถนนในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทยตามภูมิภาคต่างๆ 27
2.3 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แนะนำสำหรับ Untreated Granular Base และ Cement Base 30
2.4 แสดงอัตราส่วนปัวซองของ Cemented Material 31
2.5 ช่วง k_1 , k_2 สำหรับ Untreated Granular Material 34
2.6 แสดงค่าโมดูลัสคืนตัวของ Granular Material 35
2.7 แสดงค่าอัตราส่วนปัวซองของ Subgrade Soil ประเภทต่างๆ 39
2.8 แสดงค่าความเครียด ณ จุดเกิดการวิบัติ (ε_b) ของวัสดุ Cemented Materials 45
2.9 แสดงค่าแนะนำ f_4 , f_5 จากสถาบันต่างๆ 47
2.10 แสดงค่า Load Equivalency Factor 49
2.11 ความหนาขั้นต่ำที่ต้องการของโครงสร้างถนน (T_A) 50
2.12 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำพื้นทาง 51
3.1 การตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ยังไม่ผ่านการอบ 53
3.2 การตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754 54
3.3 การตรวจวัดคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ 55
3.4 การตรวจวัดคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด 55
3.5 สัดส่วนขนาดคละ ข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับมวลรวม ขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) 56
4.1 คุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 65
4.2 คุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754 66
4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ของวัสดุมวลรวมจังหวัดต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 127 และ ASTM C 128 66
4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ จังหวัดต่างๆ 67
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด จังหวัดต่างๆ 67
4.6 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 70
4.7 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวเฉลี่ย ณ อุณหภูมิต่างๆ 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.8 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละจังหวัด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 75

4.9 แสดงค่าโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมจังหวัดต่างๆ ณ อุณหภูมิเฉลี่ยของโครงสร้างชั้นทาง 76

5.1 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic 79

5.2 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic 80

5.3 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนแบบ Viscoelastic 82

5.4 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic 85

5.5 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic 85

5.6 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic 87

5.7 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic 87

5.8 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic 88

5.9 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic 89

5.10 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 150 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic 100

5.11 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 300 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic 101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

5.12 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 150 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic 102

5.13 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 300 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic 103

5.14 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 150 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์แบบ Viscoelastic 104

5.15 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 300 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์แบบ Viscoelastic 105

ก-1 แสดงอัตราส่วนปรับแก้ของค่าเสถียรภาพที่ได้จากการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล 122

ข-1 แสดงผลการคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่าการคืนตัวเฉลี่ย 5 ครั้งสุดท้าย 154

ข-2 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดกาญจนบุรี 155

ข-3 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดชลบุรี 156

ข-4 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดเพชรบุรี 157

ข-5 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดราชบุรี 158

ข-6 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดสระบุรี 159

ค-1 แสดง Design Chart ของโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ 161

ค-2 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางประเภทต่างๆ 161

ง-1 แสดง Design Chart ของโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ 169

ง-2 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางประเภทต่างๆ 170

จ-1 แสดง Design Chart ของโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ 184

จ-2 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางประเภทต่างๆ 185

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 การกระจายความดันของ Load ผ่านโครงสร้างถนนลาดยาง 8
2.2 การเกิดการโก่งตัวทำให้เกิดความเค้นแรงอัดและความเค้นแรงดึงภายในชั้นทาง 8
2.3 ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมที่น้อยที่สุด 11
2.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากวิธีมาร์แชล 12
2.5 การเกิดความเครียดของวัสดุเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกซ้ำ 14
2.6 Equivalent haversine and triangular Pulse 15
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalent Pulse Time และความลึกใต้ผิวทาง กรณีแรงกระทำเป็นแบบ Haversine แบบ Triangular 15
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalent Pulse Time และ Depth Below Pavement Surface กรณี Square Wave Loading 16
2.9 การ Loading ก้อนตัวอย่างในการทดสอบด้วยแรงดึงกระทำซ้ำทางอ้อม 20
2.10 ลักษณะการเกิดการแตกของก้อนตัวอย่างในการทดสอบด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม 20
2.11 การกระจายความเค้นที่เกิดจาก Biaxial State ของความเค้นในการทดสอบด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม 22
2.12 การเปลี่ยนแปลงค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามค่าอุณหภูมิและเวลา 24
2.13 The Van Der Poel Nomograph for Bitumen Stiffness 25
2.14 Nomograph ที่ใช้หา Stiffness ของแอสฟัลต์คอนกรีต 26
2.15 Correlation Chart ของ Cement -Treated เพื่อประมาณค่าโมดูลัสคืนตัว 28
2.16 รูปแสดง Non - Linearity ของดินและวัสดุประเภท Granular Soil 32
2.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus และ CBR ของ Unbound Granular Material 36
2.18 Correlation Chart ของ Untreated Material เพื่อประมาณค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 36
2.19 ตัวอย่างโครงสร้างชั้นทางแบบ Multi - Layer - System 40
2.20 Nomograph เพื่อใช้หา Allowable Number of Load Repetition 43
2.21 Fatigue Curve ของ Cement Treated Crushed Gravel 44
2.22 ค่าความหนาขั้นต่ำของผิวทางซึ่งมีชั้นพื้นทางเป็นหินคลุก 51
2.23 Nomograph ใช้กำหนดความหนาของถนนเหนือ Subgrade Soil 52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

3.1 แสดงรูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม Load ในการทดสอบ และค่าที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม 59

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load และ Deformation ที่เกิดขึ้น ในการทดสอบแบบ Repeated Load Indirect Tensile Test 61

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load และการยุบตัวที่เกิดขึ้น ในการทดสอบแบบ Repeated Load Indirect Tensile Test 62

3.4 แสดงวิธีการดำเนินการศึกษา 64

4.1 แสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวจังหวัดต่างๆ 74

5.1 แสดงโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่นหลายชั้นทางในระบบพิกัดทรงกระบอก 77

5.2 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement 84

5.3 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement 86

5.4 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต 88

5.5 ขนาดของ Load ที่กระทำ และตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์ 90

ข-1 แสดงผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต จากการกดตัวอย่างทั้งหมด 150 ครั้ง 154

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย