สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการทำงาน	2
1.5 ขั้นตอนการจัดทำโครงงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	5
1.7 รายละเอียดงบประมาณโครงการ	5
บทที่2 หลักการและแนวทางการศึกษา	6
2.1 หลักการ	6
2.2 แนวทางการศึกษา	7
บทที่3 วิธีการดำเนินงาน	8
3.1 ขอบเขตของการศึกษา	8
3.2 หัวข้อของเนื้อหาที่จัดทำ	10
3.3 แนวทางการศึกษาทฤษฎี ปฏิบัติการทดลองและเนื้อหา	10
บทที่4 ผลการศึกษา	11
4.1 ผลการศึกษา	11
บทที่5 คุณสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของดิน (Physical Properties of Soil)	13
5.1 เนื้อหาโดยสรุป	13
5.1.1 ความหมายของดิน	13

สารบัญ (ต่อ)

5.1.2 **ขนาดอนุภาคของเม็ดดิน** (Soil Particle Size)	15
5.1.3 **รูปร่างของเม็ดดิน** (Particle Shape)	17
5.1.4 **โครงสร้างของดิน** (Soil Structure)	20
5.1.5 ขนาดของเม็ดดิน (Grain Size)	23
5.1.6 ความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity of Soil)	28
5.1.7 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักและปริมาตรในส่วนประกอบของดิน (Weight-Volume Relationships)	30
5.1.8 **คุณสมบัติความข้นเหลวของดิน** (Consistency of soil)	40
5.1.9 แผนภูมิความเหนียว (Plasticity Chart)	48
5.2 โจทย์ทบทวนเนื้อหา ความรู้ และความเข้าใจ (Example)	50
5.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์(Critical thinking problem)	60
บทที่ 6 การบดอัดดิน (Soil Compaction)	74
6.1 เนื้อหาโดยสรุป	74
6.1.1 **ทฤษฎีทั่วไปในการบดอัดดิน** (General Principles)	74
6.1.2 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test)	75
6.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการบดอัดดิน (Factor affecting Compaction)	85
6.1.4 การบดอัดดินในสนาม (Field compaction)	88
6.1.5 การควบคุมคุณภาพของการบดอัดดินในสนาม (Specifications for Field Compaction)	93
6.1.6 การหาค่าหน่วยน้ำหนักดินในสนามที่บดอัดดิน (Determine of Field unit weight of compaction)	95
6.2 โจทย์ทบทวนเนื้อหา ความรู้ และความเข้าใจ (Example)	99
6.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์(Critical thinking problem)	104
บทที่ 7 การไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage)	117
7.1 เนื้อหาโดยสรุป	117
7.1.1 **สมการความต่อเนื่อง** (Continuity Equation)	117

สารบัญ (ต่อ)

7.1.2 การแก้ปัญหาขั้นต้นโดยใช้สมการความต่อเนื่อง (Solution of Simple Problems using Continuity Equation)	120
7.1.3 ตาข่ายการไหลของน้ำ (Flow nets)	122
7.1.4 การคำนวณหาการไหลซึม (Seepage) จาก Flow net	125
7.1.5 Flow Nets ในด้านที่คุณสมบัติไม่เหมือนกัน (Anisotropic soil)	128
7.1.6 การคำนวณการไหลซึม (seepage)จากวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical)	130
7.1.7 แรงดันยกขึ้นใต้สิ่งก่อสร้างทางชลศาสตร์(Uplift Pressure under Hydraulic Structures)	132
7.1.8 การไหลซึมผ่านเขื่อนดินบนชั้นดินไม่ซึมน้ำ (Impervious Base)	133
7.1.9 การคำนวณหาการไหลซึมผ่านเขื่อนดินโดยวิธีของ L. Casagrande	134
7.2 โจทย์ทบทวนเนื้อหา ความรู้ และความเข้าใจ (Example)	136
7.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์(Critical thinking problem)	140
บทที่ 8 การยุบตัวของดิน (Consolidation)	152
8.1 เนื้อหาโดยสรุป	152
8.1.1 การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate settlement ; S_e)	153
8.1.2 การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement)	157
8.1.3 อัตราการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Time Rate of Consolidation)	177
8.1.4 Time Settlement Curve	186
8.1.5 การหาค่าการยุบตัวใต้ฐานราก (Calculation of Consolidation Settlement under a Foundation)	188
8.2 โจทย์ทบทวนเนื้อหา ความรู้ และความเข้าใจ (Example)	188
8.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์(Critical thinking problem)	193
บทที่ 9 กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength of Soil)	205
9.1 เนื้อหาโดยสรุป	205
9.1.1 เงื่อนไขการวิบัติของ Mohr-Coulomb (Mohr-Coulomb Failure Criterion)	206

สารบัญ (ต่อ)

9.1.2 **แนวโน้มของระนาบวิบัติที่เกิดจากแรงเฉือน** (Inclination of the plane of Failure Caused by Shear) 208

9.1.3 **การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินแบ่งตามขบวนการระบายน้ำ** 210

9.1.4 การทดลองในห้องปฏิบัติการสำหรับหาตัวแปรในการหาค่ากำลังแรงเฉือน (Laboratory Test For Determination of Shear Strength Parameters) 211

9.1.5 ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) 238

9.1.6. การทดสอบในสนามสำหรับหาค่าตัวแปรของค่ากำลังรับแรงเฉือน (Field Test for Determination of Shear Strength Parameters) 242

9.1.7 ความไวตัวของดินเหนียว (Sensitivity of Clay) 248

9.1.8 การประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Undrained Cohesion (c_u) กับ Effective Overburden Pressure (σ_0') 250

9.2 โจทย์ทบทวนเนื้อหา ความรู้ และความเข้าใจ (Example) 251

9.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์(Critical thinking problem) 265

บทที่10 ส่วนคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ 275

Test 1 Water Content Determination 275

Test 2 Atterberg Limits Determination 282

Test3 Specific Gravity Test 300

Test 4 Grain Size Analysis 316

Test 5 Compaction Determination 341

Test 6 California Bearing Ratio Determination 358

Test 7 Rubber Balloon Method 378

Test 7 Sand Cone Method 389

Test 8 Constant Head Test Determination 402

Test 8 Falling Head Test 411

Test 9 Unconfined Compression Determination 420

Test 10 Direct Shear Determination 435

สารบัญ (ต่อ)

Test 11 Consolidation Determination	454
บทที่ 11 สรุปผลที่ได้รับและการนำไปใช้งาน	475
11.1 สรุปผลงานที่ได้	475
11.2 ผลที่ได้รับ	477
11.3 การนำไปใช้งาน	478
11.4 ปัญหา อุปสรรคและการแก้ไข	478
บรรณานุกรม	480
ประวัติผู้เขียน	481

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 สรุปผลงานที่ได้ทั้งหมด แยกตามหัวข้อเนื้อหา และลักษณะของผลงาน ในส่วนของเนื้อหา 11

ตารางที่ 4.2 สรุปผลงานที่ได้ทั้งหมด ในส่วนของปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ 12

ตารางที่ 5.1 ส่วนประกอบของแร่ที่แสดงในแผนภาพของ Bowen 14

ตารางที่ 5.2 การแบ่งขนาดอนุภาคของเม็ดดิน (Particle-Size Classifications) 16

ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ของดินพวก กรวด-ทราย 21

ตารางที่ 5.4 ขนาดของตะแกรงในอเมริกา (U.S. Standard Sieve Size) 24

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ของดินที่หาได้จากกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน 27

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของแร่พื้นฐาน (Specific Gravity of Common Minerals) 28

ตารางที่ 5.7 แสดงถึงค่าอัตราส่วนช่องว่างและค่าความพรุนของดินชนิดต่างๆ 32

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าอัตราส่วนช่องว่างเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของดินทั่วไปในธรรมชาติ 33

ตารางที่ 5.9 แบ่งชนิดของดินตามค่า PI 47

ตารางที่ 5.10 ผลการคำนวณหา Percent Finer 51

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบดิน 2 ตัวอย่างในข้อที่ 5.3.4 67

ตารางที่ 6.1 ข้อสรุปเกี่ยวกับ Standard และ Modified Proctor Compaction Test 82

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ(Standard Proctorและ Modified 83

ตารางที่ 6.3 ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในดินแต่ละชนิด 84

ตารางที่ 6.4 การพิจารณาเลือกใช้เครื่องจักรในการบดอัดดิน 91

ตารางที่ 6.5 ค่าที่ได้จากการคำนวณ ณ ปริมาณความชื้นต่างๆ 99

ตารางที่ 6.6 ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการข้างต้น 100

ตารางที่ 6.7 ผลการทดลองที่ได้ในข้อที่ 6.2.3 100

ตารางที่ 6.8 ค่าที่ได้จากการคำนวณ ในข้อที่ 6.2.3 101

ตารางที่ 6.9 ผลสำรวจดินที่ใช้ในข้อที่ 6.3.1 105

ตารางที่ 6.10 ผลการทดสอบดินที่ใช้ในข้อที่ 6.3.3 109

ตารางที่ 6.11 ผลที่ได้จากการคำนวณจากตารางข้างต้น 110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 6.12 ผลการทดสอบตัวอย่างดินที่ใช้ในข้อที่ 6.3.6 113

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าต่างที่ต้องคำนวณในข้อที่ 7.3.2.2 144

ตารางที่ 8.1 ค่า Influence Factors สำหรับฐานรากตามสมการที่ 8.3 156

ตารางที่ 8.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินหลายๆชนิด 156

ตารางที่ 8.3 ค่าอัตราส่วนปัวซองของดินหลายๆชนิด 156

ตารางที่ 8.4 แสดงค่า T_v ที่ค่า U ต่างๆ 181

ตารางที่ 8.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าต่างๆ ในตารางที่ใช้วาด Time Settlement Curve 187

ตารางที่ 8.6 แสดงค่าต่างที่ต้องคำนวณในข้อที่ 8.3.2.2 197

ตารางที่ 9.1 แสดงค่า ϕ' ของดินชนิดต่างๆ 208

ตารางที่ 9.2 ค่า B เมื่อสิ้นสุดการอิ่มตัวแล้วแบ่งแยกตามชนิดของดิน 223

ตารางที่ 9.3 พารามิเตอร์ A_f 228

ตารางที่ 9.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Consistency และค่า q_u 237

ตารางที่ 9.5 แสดงขนาดของใบมีดที่ใช้ในการทดลอง Vane Shear ในสนาม 247

ตารางที่ 9.6 การประมาณความสัมพันธ์ระหว่าง c_u และ σ_0' 251

ตารางที่ 9.7 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างในข้อที่ 9.2.1 252

ตารางที่ 9.8 คำนวณค่าต่างๆ จากตารางที่ 9.7 252

ตารางที่ 9.9 ผลการทดสอบของตัวอย่างในข้อที่ 9.2.6 257

ตารางที่ 9.10 ค่าที่ได้จากการคำนวณในข้อที่ 13.2.6 258

ตารางที่ 9.11 ผลการทดสอบตัวอย่างในข้อที่ 9.2.7 259

ตารางที่ 9.12 แสดงผลการทดสอบในข้อที่ 9.2.8 260

ตารางที่ 9.13 ผลการทดสอบที่ได้ในข้อที่ 9.2.9 261

ตารางที่ 9.14 ค่าที่ได้จากการคำนวณ 261

ตารางที่ 9.15 ผลการทดสอบ 263

ตารางที่ 9.16 การคำนวณค่าต่างๆ 263

ตารางที่9.17 ผลการทดสอบตัวอย่างในข้อที่ 9.3.2 266

ตารางที่ 9.18 แสดงค่าต่างๆ ที่คำนวณได้จากตารางที่ 9.17 267

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 10.4.1 คุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์สำหรับดินที่มีขนาดคละกันดี 317

ตารางที่ 10.4.2 Properties of distilled water (η = absolute)(Bowles, 1992) 321

ตารางที่ 10.4.3 Correction factors *a* for unit weight of solids(Bowles,1992) 321

ตารางที่ 10.4.4 Temperature correction factors C_T (Bowles, 1992) 322

ตารางที่ 10.4.5 Values of K for several unit weights of soil solids and temperature combinations (Bowles, 1992) 322

ตารางที่ 10.4.6 Values of L (effective depth) for use in Stokes' formular (Bowles, 1992) 323

ตารางที่ 10.4.7 น้ำหนักของตัวอย่างดินแห้งในการทดสอบโดยร่อนผ่านตะแกรง 326

ตาราง 10.4.8 ผลการทดลองที่ใช้ในหัวข้อ 10.6 338

ตาราง 10.4.9 ผลการคำนวณหา Percent Finer 339

ตารางที่ 10.5.1 Specifications for the Standard and Modified Proctor Tests (DAS, 1995) 343

ตารางที่ 10.6.1 หน่วยแรงมาตรฐาน (California Division of Highway) (Bowles, 1992) 358

ตารางที่ 10.6.2 แสดงความสัมพันธ์ของ %CBR และการใช้งาน 360

ตารางที่ 10.6.3 ความสัมพันธ์ของค่า CBR กับการใช้งาน (Bowles, 1992) 376

ตาราง 10.7.1 ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินที่เหมาะสมตามปริมาตรของหลุม 390

ตาราง 10.7.2 ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนัก1กรัมที่อุณหภูมิต่างๆ 394

ตารางที่ 10.11.1 Time Factor (DAS, 1998) 459

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ขั้นตอนการจัดทำโครงงาน 4

รูปที่ 5.1 Rock cycle 13

รูปที่ 5.2 แสดงถึงลำดับการตกผลึกของแร่ตามทฤษฎีของ Bowen 14

รูปที่ 5.3 รูปร่างของเม็ดดินเป็นแบบก้อนหรือเป็นเมล็ด 18

รูปที่ 5.4 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด 19

รูปที่ 5.5 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นเส้น 20

รูปที่ 5.6 โครงสร้างเม็ดเดี่ยว (a) หลวม (b) แน่น 21

รูปที่ 5.7 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง (Honeycombed structure) 22

รูปที่ 5.8 โครงสร้างดินตะกอน (Sediment structure) (a) โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (b) โครงสร้างแบบระเกะระกะที่ไม่มีเกลือ (c) โครงสร้างเป็นแบบระเกะระกะที่มีเกลือ 22

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน (Particle-size distribution curve) 24

รูปที่ 5.9 แสดง Hydrometer ที่ใช้ในการทดลอง 25

รูปที่ 5.10 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดินซึ่งแสดงผลจากวิธีร่อนด้วยตะแกรงกับวิธีการตกตะกอน 26

รูปที่ 5.11 แสดงวิธีการหา D_{75},D_{60},D_{30},D_{25} และ D_{10} 27

รูปที่ 5.12 ความแตกต่างของกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Different types of partical-size distribution curves) 28

รูปที่ 5.13 แสดงถึงเครื่องมือ Pycnometer 29

รูปที่ 5.14 (a) ส่วนประกอบของดินตามธรรมชาติ (Soil element in natural state)(b) Three phases ของส่วนประกอบของดิน 31

รูปที่ 5.15 Three Phases ของส่วนประกอบดินถ้ากำหนดให้ปริมาตรของ Soil solids เท่ากับ 1 35

รูปที่ 5.16 ดินเหนียวอิ่มตัวที่กำหนดให้ปริมาตรของ Soil solids เท่ากับ 1 36

รูปที่ 5.17 ส่วนประกอบของดินที่ปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1 38

รูปที่ 5.19 ดินอิ่มตัวโดยกำหนดให้ปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1 39

รูปที่ 5.20 Atterberg Limits 40

รูปที่ 5.21 สถานภาพของดิน 41

รูปที่ 5.22 เครื่องมือทดสอบ Liquid Limit 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 5.23 การทดลอง Liquid Limit (a) liquid limit Device (b) grooving tool (c)soil pat before (d) soil pat after test 43

รูปที่ 5.24 กราฟสำหรับการหา Liquid Limit ของ Clayey silt 44

รูปที่ 5.25 แสดงถึงวิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit 45

รูปที่ 5.26 แสดงการทดลองหาค่า Shrinkage limit (a) soil pat before drying (b) soil pat afterdrying 45

รูปที่ 5.27 อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shrinkage Limit, Plastic Limit และ Liquid Limit 46

รูปที่ 5.28 แสดงถึงค่า Liquidity Index 48

รูปที่ 5.29 แผนภูมิความเหลว (Plasticity Chart) 49

รูปที่ 5.30 แสดงกราฟการกระจายตัวของเม็ดดินของข้อที่ 5.2.2.1 51

รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรที่ใช้ในข้อที่ 5.2.4 54

รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรที่ใช้ในข้อที่ 5.2.6 56

รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรที่ใช้ในข้อที่ 5.2.8 58

รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตร 64

รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรที่ $V_T = 1 ft^3$ 64

รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรที่ $V_T = 1 ft^3$ ที่คำนวณค่าแล้ว 66

รูปที่ 5.37 Phase diagram ของ Dried soil ของข้อที่ 5.3.4.1 67

รูปที่ 5.38 Phase diagram ของ Dried soil ของข้อที่ 5.3.4.1 ที่ใส่ค่าที่ทราบแล้ว 68

รูปที่ 5.39 Phase diagram ของ Dried soil ของข้อที่ 5.3.4.1 ที่คำนวณค่าทั้งหมดแล้ว 69

รูปที่ 5.40 Phase diagram ของ Dried soil ของข้อที่ 5.3.4.2 70

รูปที่ 5.41 Phase diagram ของ Wet soil ของข้อที่ 5.3.4.2 ที่ใส่ค่าที่ทราบแล้ว 71

รูปที่ 5.42 Phase diagram ของ Dried soil ของข้อที่ 5.3.4.2 ที่คำนวณค่าทั้งหมดแล้ว 73

รูปที่ 6.1 ทฤษฎีในการบดอัดดิน (Principles of compaction) 75

รูปที่ 6.2 แสดงเครื่องมือในการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ 76

รูปที่ 6.3 แสดงเครื่องมือในการบดอัดดินในสนาม 77

รูปที่ 6.4 เครื่องมือที่ใช้ทดลอง Standard Proctor Test (a) โมล (Mold) (b) ค้อน (Hammer) 79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดิน กับความหนาแน่นของมวลดิน (Compaction Curve) 80

รูปที่ 6.6 ชนิดของ Compaction Curve ของดิน 4 ชนิด 85

รูปที่ 6.7 ชนิดของ Compaction Curve 86

รูปที่ 6.8 ผลกระทบจากพลังงานในการบดอัดในการบดอัดดิน Sandy Clay 87

รูปที่ 6.9 Smooth-wheel roller 88

รูปที่ 6.10 Pneumatic rubber-tired roller 89

รูปที่ 6.11 Sheepsfoot roller 89

รูปที่ 6.12 ทฤษฎีของ Vibratory rollers 90

รูปที่ 6.13 กราฟสำหรับ Silty Clay – ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับจำนวนรอบของ 85kN (19 kip) three-wheel roller โดยบดอัดในดินตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 229 mm (9 in) ในสภาวะหลวม ที่ Moisture Content ที่แตกต่างกัน 92

รูปที่ 6.14 (a) การบดอัดดินแบบสั่นของทราย – ที่ความต่างของจำนวนรอบกับหน่วยน้ำหนักแห้งที่ความหนาของชั้นดิน = 2.45 m (8 ft) 93

รูปที่ 6.15 เหยือกแก้วที่มีทราย Ottawa อยู่ด้านใน กับกรวย 96

รูปที่6.16 การหาหน่วยน้ำหนักในสนามโดยวิธีSand Cone methodโดยจากรูปแสดงรูปตัดของชั้นดิน 97

รูปที่ 6.17 แสดง Sand Density Cone Field Density Plates และขั้นตอนการทำ Sand Cone 97

รูปที่ 6.18 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง Rubber Balloon 98

รูปที่ 6.19 กราฟ Compaction Curve ของข้อที่ 6.2.3 101

รูปที่ 6.20 กราฟที่ได้จากผลการทดสอบในข้อที่ 6.3.2 107

รูปที่ 6.21 กราฟที่ใช้ในข้อที่ 6.3.3 108

รูปที่ 6.22 แสดง Compaction Curve 110

รูปที่ 6.23 รูปประกอบข้อ 6.3.5 112

รูปที่ 6.24 แสดงผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ใช้ในข้อที่ 6.3.7 115

รูปที่ 7.1 (a) Sheet Pile 1 อันที่วางอยู่บนชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ (b) การไหลที่จุด A 118

รูปที่ 7.2 การไหลของน้ำผ่านดิน 2 ชั้น 120

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 7.3 (a) แสดงให้เห็นถึงเส้น flow lines และ equipotential lines (b) แสดงการเขียน Flow net ที่เสร็จสมบูรณ์ 124

รูปที่ 7.4 แสดง Flow nets ที่ใต้เขื่อน 125

รูปที่ 7.5 แสดง Flow nets ที่ใต้เขื่อนที่วัสดุกรองอยู่หน้าเขื่อน (toe filter) 125

รูปที่ 7.6.1 การไหลซึมผ่าน Flow channel ที่พื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 127

รูปที่ 7.6.2 การไหลซึมผ่านของน้ำผ่าน Flow channel ที่พื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 127

รูปที่ 7.7 Flow net สำหรับการไหลซึมรอบๆ ฐานของ Sheet pile 128

รูปที่ 7.8 Flow element ในดินแบบ Anisotropic (a) ในหน้าตัดแปลง (b) ในหน้าตัดจริง 130

รูปที่ 7.9 แสดงการ plot ค่า $\frac{q}{kH}$ กับค่า $\frac{S}{T'}$ สำหรับการไหลผ่านใต้ฐานของ Sheet pile 131

รูปที่ 7.10 การไหลซึมใต้เขื่อน 131

รูปที่ 7.11 (a) แสดงรูปตัดของฝาย (b) แรงดันยกขึ้นใต้โครงสร้างทางชลสาสตร์ 132

รูปที่ 7.12 การไหลของน้ำผ่านโครงสร้างเขื่อนที่วางก่อสร้างอยู่บนชั้น Impervious 133

รูปที่ 7.13 แสดงรูปที่ใช้ในข้อที่ 7.2.1 136

รูปที่ 7.14 ตาข่ายการไหลของน้ำที่ใช้ในข้อที่ 7.2.2 137

รูปที่ 7.15 แสดงรูปตัดของเขื่อนดินที่ใช้ในข้อที่ 7.2.3 138

รูปที่ 7.16 รูปที่ใช้ในข้อที่ 7.2.4 139

รูปที่ 7.17 แสดงรูปที่ใช้ในข้อที่ 7.3.1 141

รูปที่ 7.18 แสดงรูปที่ใช้ในข้อที่ 7.3.2 143

รูปที่ 7.19.1 รูปที่ใช้ในข้อที่ 7.3.3 145

รูปที่ 7.19.2 รูปที่ใช้ในข้อที่ 7.3.3 146

รูปที่ 7.20.1 รูปที่ใช้ในข้อที่ 7.3.3 148

รูปที่ 7.20.2 การเขียน Flow net ข้อ7.3.3 149

รูปที่ 7.21 แสดงรูปตัดของ Coffer Dam ที่ใช้ในข้อที่ 7.3.5 150

รูปที่ 8.1 Profile ของการทรุดตัวแบบทันทีทันใดและแรงดันที่กระทำของดินเหนียว (a) ฐานรากแบบยืดหยุ่นได้ (b) แบบไม่ยืดหยุ่น 154

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 8.2 Profile **ของการทรุดตัวแบบทันทีทันใดและแรงดันที่กระทำของดินทราย (a) ฐานรากแบบยืดหยุ่นได้ (b) แบบไม่ยืดหยุ่น** 154

รูปที่ 8.3 Spring-cylinder model 158

รูปที่ 8.3.1 **ค่าการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงเค้นรวม, หน่วยแรงดันน้ำ, หน่วยแรงประสิทธิผล ในชั้นดิน** เหนียวที่มีการไหลของน้ำผ่านด้านบนลงสู่ด้านล่าง โดยมีการใส่หน่วยแรง Ds เข้าไป 159

รูปที่ 8.4 (a) รูปตัดของ consolidometer (b) รูปถ่ายของ consolidometer (c) วิธีการทดลอง consolidation 161

รูปที่ 8.5 การวาดกราฟ Time-deformation ที่ได้จากทดลอง consolidation ที่ได้จากการใส่น้ำหนักเข้าไป 162

รูปที่ 8.6 กราฟที่วาดระหว่าง e กับ $\log \sigma'$ ที่แสดงถึง loading, unloading และ reloading 163

รูปที่ 8.7 วิธีการหา preconsolidation pressure โดยใช้วิธีกราฟฟิก 164

รูปที่ 8.8 Consolidation characteristics ของดินเหนียวแบบ NC แบบ low-medium sensitivity 166

รูปที่ 8.9 Consolidation characteristics ของดินเหนียวแบบ OC แบบ low-medium sensitivity 167

รูปที่ 8.10 การทรุดตัวของ one-dimension consolidation 169

รูปที่ 8.11 แสดง Virgin consolidation Curve 171

รูปที่ 8.12 แสดงถึงพฤติกรรมของดินแบบ $\sigma_0' + \Delta\sigma \le \sigma_c'$ 172

รูปที่ 8.13 แสดงพฤติกรรมของดินแบบ $\sigma_0' + \Delta\sigma' > \sigma_c'$ 173

รูปที่ 8.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e และ log t ภายใต้การลดลงของน้ำหนัก และแสดงถึงวิธีการหาค่า Secondary consolidation index 176

รูปที่ 8.15 (a) ชั้นดินเหนียวที่เกิดการทรุดตัว (b) การไหลของน้ำผ่านจุด A 179

รูปที่ 8.16.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง U กับ T_v (Time Factor) โดยที่ u_0 คงที่ในทุกๆความลึก 180

รูปที่ 8.16.2 ค่า U_z กับค่า T_v และ z/H_{dr} 180

รูปที่ 8.17 แสดงการระบายน้ำออกจากดิน 2 ทาง 182

รูปที่ 8.18 แสดงการระบายน้ำออกจากดินทางเดียว 182

รูปที่ 8.19 **แสดงความสัมพันธ์ในการหา** m_v 183

รูปที่ 8.20 **วิธีการหาค่า** C_v **โดยวิธี** Logarithm-of-time method 185

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 8.21 วิธีการหาค่า C_v โดยวิธี Square-root-of-time fitting method 186

รูปที่ 8.22 แสดงตัวอย่างกราฟ Time Settlement Curve ที่สร้างจากตารางที่ 8.5 187

รูปที่ 8.23 แสดงรูปที่ใช้ในข้อที่ 8.2.1 189

รูปที่ 8.24 ตาข่ายการไหลของน้ำที่ใช้ในข้อที่ 8.2.2 190

รูปที่ 8.25 แสดงรูปตัดของเขื่อนดินที่ใช้ในข้อที่ 8.2.3 191

รูปที่ 8.26 รูปที่ใช้ในข้อที่ 8.2.4 192

รูปที่ 8.27 แสดงรูปที่ใช้ในข้อที่ 8.3.1 194

รูปที่ 8.28 แสดงรูปที่ใช้ในข้อที่ 8.3.2 196

รูปที่ 8.29.1 รูปที่ใช้ในข้อที่ 8.3.3 198

รูปที่ 8.29.2 รูปที่ใช้ในข้อที่ 8.3.3 199

รูปที่ 8.30.1 รูปที่ใช้ในข้อที่ 8.3.3 201

รูปที่ 8.30.2 เขียน Flow net ได้ตามรูปต่อไปนี้ 202

รูปที่ 8.31 แสดงรูปตัดของ Coffer Dam ที่ใช้ในข้อที่ 8.3.5 203

รูปที่ 9.1 Mohr-Coulomb failure criterion 207

รูปที่ 9.2 ระนาบหลัก (Major principle plane) และระนาบของการวิบัติ (Failure plane) ของดิน 210

รูปที่ 9.3 วงกลมของ Mohr และเส้นขอบเขตการวิบัติ (Failure envelop) 210

รูปที่ 9.4 แผนภาพแสดงการทดสอบ Direct shear 212

รูปที่ 9.5 เครื่องควบคุม Strain ในการทดสอบ Direct shear 213

รูปที่ 9.6 เครื่องทดสอบ Direct shear 213

รูปที่ 9.7 กราฟระหว่าง shear stress และการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง กับ shear displacement สำหรับดินทรายหลวมที่แห้ง และดินทรายแน่นที่แห้ง 215

รูปที่ 9.8 การหาค่าพารามิเตอร์ของกำลังรับแรงเฉือนสำหรับดินทรายแห้งที่ได้จากการทดลอง Direct shear test 216

รูปที่ 9.9 เส้นขอบเขตการวิบัติสำหรับดินเหนียวที่ได้จากการทดลอง Direct shear แบบระบายน้ำ 216

รูปที่ 9.10 ผลการทดสอบ Direct shear แบบระบายน้ำบนดินเหนียวแบบ OC 218

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 9.11 ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุที่ใช้ทำฐานราก กับดิน 219

รูปที่ 9.12.1 แสดงการทดสอบ Direct Shear ที่ใช้หาค่า Interface friction angle 219

รูปที่ 9.12.2 แสดงค่า $\tan\phi'$ *or* $\tan\delta$ ที่ค่า 1/e ต่างๆ ที่ $\sigma' = 100\,kN/m^2$ 220

รูปที่ 9.13 แผนภาพแสดงรูปตัดของการทดสอบแบบ Triaxial Test 221

รูปที่ 9.14 แสดงเครื่องมือทดสอบ Triaxial Test 221

รูปที่ 9.15 CD Test ในการทดลอง Triaxial (a) ตัวอย่างภายใต้ confining pressure (b) การใส่เข้าไปของ deviator stress 223

รูปที่ 9.16 CD Test (a) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างจากการที่ใส่ confining pressure (b) เขียนกราฟระหว่าง deviator stress กับ axial strain สำหรับดินทรายหลวม และดินเหนียวแบบ NC clay (c) เขียนกราฟระหว่าง deviator stress กับ axial strain สำหรับดินทรายแน่น และดินเหนียวแบบ OC clay (d) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในดินทรายหลวมและดินเหนียวแบบ NC clay เมื่อใส่ deviator stress เข้าไป (e) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในดินทรายแน่น และดินเหนียวแบบ OC clay เมื่อใส่ deviator stress เข้าไป 224

รูปที่ 9.17 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของเม็ดดินเมื่อได้รับแรงสำหรับดินทรายหลวม และดินทรายแน่น 225

รูปที่ 9.18 หน่วยแรงประสิทธิผลบนระนาบการวิบัติจากการทดสอบแบบระบายน้ำบนทราย และ NC clay 226

รูปที่ 9.19 หน่วยแรงประสิทธิผลบนระนาบการวิบัติจากการทดสอบแบบระบายน้ำบน OC clay 227

รูปที่ 9.20 CU Test (a) ตัวอย่างภายใต้การใส่ confining pressure เข้าไป (b) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างจากการที่ใส่confining pressure (c) แสดงการใส่ deviator stress (d) เขียนกราฟระหว่าง deviator stress กับ axial strain สำหรับดินทรายหลวมและดินเหนียวแบบ NC clay (e) เขียนกราฟระหว่าง deviator stress กับ axial strain สำหรับดินทรายแน่น และดินเหนียวแบบ OC clay (f) แสดงกราฟค่าการเปลี่ยนแปลงของpore water pressure กับ axial strain สำหรับดินทรายหลวม และดินเหนียวแบบ NC clay (e) แสดงกราฟค่าการเปลี่ยนแปลงของ pore water pressure กับ axial strain สำหรับดินทรายแน่น และดินเหนียวแบบ OC clay 229

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 9.21 หน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลที่ระนาบการวิบัติ สำหรับ CU Triaxial Test 230

รูปที่ 9.22.1 หน่วยแรงรวมที่ระนาบการวิบัติ โดยได้จากการทดลอง CU Test ของดินแบบ OC Clay 231

รูปที่ 9.22.2 หน่วยแรงรวมบนวงกลมของ Mohr ที่ระนาบการวิบัติ ($\phi = 0$) ซึ่งได้จากการทดลองแบบ UU Test บนดินเชื่อมแน่นที่อิ่มตัวสมบูรณ์ 232

รูปที่ 9.23 The $\phi = 0$ concept 234

รูปที่ 9.24 การทดสอบ Unconfined Compression 235

รูปที่ 9.25 เครื่องมือทดสอบ Unconfined Compression Test 236

รูปที่ 9.26 ทางเดินของหน่วยแรง-พล็อตกราฟระหว่าง q' และ p' สำหรับ CD Triaxial Test บน NC Clay 238

รูปที่ 9.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ' และ α 240

รูปที่ 9.28 ทางเดินของหน่วยแรง-พล็อตกราฟระหว่าง q' และ p' สำหรับ CU Triaxial Test บน NC Clay 241

รูปที่ 9.29 แผนภาพแสดงใบมีดที่ใช้ทดสอบ Vane Shear Test 242

รูปที่ 9.30 Derivation สมการที่ 9.57 (a) โมเมนต์ต้านทานต่อแรงเฉือน (b) ความแตกต่างของการกระจายตัวของหน่วยแรงบนใบมีด 244

รูปที่ 9.31 แสดงการกระจายตัวของหน่วยแรงตามแนวใบมีด 244

รูปที่ 9.32 ใบมีดที่ใช้ทดลอง Vane Shear ในห้องปฏิบัติการ 246

รูปที่ 9.33 ใบมีดที่ใช้ทดลอง Vane Shear ในสนาม 246

รูปที่ 9.34 Pocket penetrometer 248

รูปที่ 9.35 Unconfined Compression strength สำหรับดินเหนียว undisturbed และ remolded 249

รูปที่ 9.36 การแบ่งแยกชนิดของดินเหนียวบนพื้นฐานของ Sensitivity 250

รูปที่ 9.37 กราฟระหว่างค่า Normal stress และค่า Shear stress 253

รูปที่ 9.38 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงตั้งฉาก กับหน่วยแรงเฉือนที่สภาวะต่างๆ 258

รูปที่ 9.39 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงกดตั้งฉาก และหน่วยแรงเฉือน ณ จุดวิบัติ 259

รูปที่ 9.40 แสดงกราฟระหว่าง σ_3 และ σ_1 261

รูปที่ 9.41 กราฟที่เขียนได้จากตารางที่ 9.16 264

รูปที่ 9.42 แสดงชั้นดินที่ได้จากการสำรวจในข้อที่ 9.3.2 266

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 9.43 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 9.18 267

รูปที่ 9.44 แสดงการเปลี่ยนแปรของ s' ตามความลึกใต้ผิวดิน 273

รูปที่ 10.1.1 หลักการทดสอบหา water content ในตัวอย่างดิน 275

รูปที่ 10.1.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหา water content 276

รูปที่ 10.1.3 Atterberg Limit (Das, 2001) 279

รูปที่ 10.2.1 ความสัมพันธ์ของปริมาตรกับความชื้นในดิน 282

รูปที่ 10.2.2 Atterberg Limits 283

รูปที่ 10.2.3 แสดงขั้นตอนการหาค่า Liquid Limit 286

รูปที่ 10.2.4 แสดงขั้นตอนการหาค่า Plastic Limit 287

รูปที่ 10.2.5 แสดงขั้นตอนการหาค่า Shrinkage Limit 288

รูปที่ 10.2.6 แผนภูมิความเหนียว(Plasticity chart) (DAS, 2001) 297

รูปที่ 10.3.1 แสดงหลักการทดสอบหา Specific Gravity 300

รูปที่ 10.3.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหากราฟเทียบหาน้ำหนักของขวดและน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ 302

รูปที่ 10.3.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน 303

รูปที่ 10.4.1 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีการร่อนด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) ในห้องปฏิบัติการ (DAS, 2001) 317

รูปที่ 10.4.2 กราฟการกระจายตัวที่แตกต่างกันของขนาดเม็ดดิน (DAS, 2001) 318

รูปที่ 10.4.3 แสดง Hydrometer ที่ใช้ในการทดลอง 320

รูปที่ 10.4.4 ค่าปรับแก้ของการเกิดโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction) (Bowles, 1992) 320

รูปที่ 10.4.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบวิธีร่อนผ่านตะแกรง 325

รูปที่ 10.4.6 แสดงขั้นตอนทดสอบการตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test) 327

รูปที่ 10.4.7 แสดงขั้นตอนการหาค่าปรับแก้เนื่องจากของเหลวไม่บริสุทธิ์ (Zero Correction) 328

รูปที่ 10.4.8 Grain-size distribution curve (Das 1999) 335

รูปที่ 10.4.9 แสดงกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน 340

รูปที่ 10.5.1 เส้นกราฟการบดอัด 341

รูปที่ 10.5.2 แสดงลักษณะของเม็ดดินที่ถูกบดอัด 342

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 10.5.3 Phase Diagram ของดิน 342

รูปที่ 10.5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (g_d) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ (1) Standard Proctor และ (2) Modified Proctor 343

รูปที่ 10.5.5 เส้นกราฟการบดอัดสำหรับดินชนิดต่างๆ 345

รูปที่ 10.5.6 พลังงานในการบดอัดดินของ Sandy clay 346

รูปที่10.5.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการบดอัด 347

รูปที่ 10.5.8 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ดินของวิธี Standard Proctor Test 347

รูปที่ 10.5.9 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ดินของวิธี Modified Proctor Test 347

รูปที่ 10.5.10 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Standard Proctor Test 348

รูปที่ 10.5.11 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Modified Proctor Test 349

รูปที่ 10.6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ CBR (ASTM, 1995) 359

รูปที่ 10.6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K, R และ Bearing Value 360

รูปที่ 10.6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Test Unit Load กับ Penetration 361

รูปที่ 10.6.4 แสดง เครื่องกดทดสอบ CBR 362

รูปที่ 10.6.5 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน 363

รูปที่ 10.6.6 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแห้ง (Unsoaked Test) 364

รูปที่ 10.6.7 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ (Soaked Test) 365

รูปที่ 10.6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K, R และ Bearing Value 376

รูปที่ 10.7.1 การทดสอบ Rubber Balloon Method (ASTM D2167-94) 379

รูปที่ 10.7.2 อุปกรณ์การทดสอบ Rubber Balloon Method (Head, 1992) 380

รูปที่ 10.7.3 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration) 381

รูปที่ 10.7.4 ขั้นตอนการทดสอบ 382

รูปที่ 10.7.1 อุปกรณ์ทดสอบ Sand Cone Method (Bowles, 1992) 391

รูปที่ 10.7.2 ขั้นตอนการหาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ทดสอบ 392

รูปที่ 10.7.3 ขั้นตอนการสอบเทียบหาน้ำหนักทรายในกรวย 393

รูปที่ 10.7.4 ขั้นตอนการหาปริมาตรของขวด 394

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 10.7.5 ขั้นตอนการทดสอบ Sand Cone Method 396
รูปที่ 10.8.1 Constant head permeability test 402
รูปที่ 10.8.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน 404
รูปที่ 10.8.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head Test) 405
รูปที่ 10.8.4 อุปกรณ์ทดสอบ Constant head permeability test 406
รูปที่ 10.8.1 หลักการของ Falling Head Test (DAS, 1998) 411
รูปที่ 10.8.2 อุปกรณ์ทดสอบ Falling Head Test 413
รูปที่ 10.8.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของดินเหนียว 413
รูปที่ 10.8.4 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test) 414
รูปที่ 10.8.5 ลักษณะการคลุมปลายท่อตั้งด้วยยาง (Rubber Balloon) (Bowles, 1970) 419
รูปที่ 10.9.1 Stress และ Mohr's Diagram (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525) 421
รูปที่ 10.9.2 ความสัมพันธ์ของ Stress และ Deformation (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525) 422
รูปที่ 10.9.3 เครื่องกดตัวอย่างดิน (Compression Device) 423
รูปที่ 10.9.4 อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน 424
รูปที่ 10.9.5 การเตรียมตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) 424
รูปที่ 10.9.6 การเตรียมตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded Sample) 425
รูปที่ 10.9.7 การเตรียมตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Prepared Sample) 426
รูปที่ 10.9.8 ขั้นตอนการทดสอบ Unconfined Compression Test 427
รูปที่ 10.10.1 ภาพแสดงหลักการทดสอบ Direct Shear Test (Das, 1998) 435
รูปที่ 10.10.2 แสดงแรงกระทำในแนวตั้งฉากและแนวราบกับผิวตัวอย่าง (Lambe, 1951) 436
รูปที่ 10.10.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress กับ Displasement (Head, 1980) 437
รูปที่ 10.10.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Shear Stress กับ Normal Stress (Head, 1980) 437
รูปที่ 10.10.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress และความสูงของตัวอย่างที่ถูกกดอัดกับ Shear Displacement ของ Loose และ Dense Dry Sand (Das, 1998) 438
รูปที่ 10.10.6 เครื่องกดทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine) 439

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 10.10.7 ขั้นตอนการเตรียมดินเหนียว 440

รูปที่ 10.10.8 ขั้นตอนการเตรียมดินทราย 440

รูปที่ 10.10.9 ขั้นตอนการทดสอบ Direct Shear 441

รูปที่ 10.10.10 แสดงแรงเฉือนที่เกิดระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (Das, 1998) 450

รูปที่ 10.10.11 การใช้ Direct shear test เพื่อหาค่า Angle of friction (DAS, 1998) 451

รูปที่ 10.11.1 Spring - Cylinder model (DAS, 1998) 455

รูปที่ 10.11.2 (a) ลักษณะการเกิด Consolidation ของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay) (DAS,1998) 456

รูปที่ 10.11.2 (b) แสดงหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของ Model (DAS,1998) 457

รูปที่ 10.11.3 Diagram of Consolidometer (DAS, 1998) 458

รูปที่ 10.11.3 เครื่องมือทดสอบ Consolidation ทั้งชุด (DAS, 1998) 458

รูปที่ 10.11.4 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน 460

รูปที่ 10.11.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Consolidation 461

รูปที่ 10.11.6 Stress - volume strain curve 471