

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการแทรกในดิน

นาย ธเนศ สุทธิวรารักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4466-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR PENETRATION PROBLEMS IN SOIL

Mr. Thanate Suthiwaraphirak

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

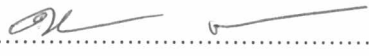
Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4466-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการแทรกในดิน
โดย นาย ธเนศ สุทธิวรารักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏ์ชน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต



..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวณิชย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏ์ชน)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.จิรวัตถ์ บุญญะฐิติ)

นาย ธเนศ สุทธิวาริรักษ์ : การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการแทรกในดิน.
(FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR PENETRATION PROBLEMS IN SOIL)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. บุญชัย อุกฤษฏาชน, 244 หน้า. ISBN 974-17-4466-8.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาระบบการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้หลักการของวิธีประยุกต์ใช้งาน และนำไปโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้ปรับปรุงแล้ว มาวิเคราะห์ปัญหาการแทรกของวัตถุเข้าไปในดินในรูปแบบต่าง ๆ

วิธีการประยุกต์ใช้งาน เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความเครียดน้อยในการวิเคราะห์ปัญหามวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวมาก ซึ่งหลักการที่ปรับปรุงขึ้นใหม่ประกอบด้วย การสร้างโครงข่ายแบบอัตโนมัติของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 จุดต่อ และ 15 จุดต่อ การปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วนโดยการควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี SPR รวมถึงการถ่ายโอนค่าตัวแปรสถานะสำหรับโครงข่ายชิ้นส่วนใหม่ นอกจากนี้ สำหรับปัญหามวลดินที่มีการเคลื่อนตัวมาก (Large Strain) จะทำการปรับปรุงค่าพิกัดตำแหน่งของจุดต่อทุก ๆ ครั้ง ภายหลังจากเสร็จสิ้นการคำนวณในแต่ละวงรอบ

การวิเคราะห์ปัญหาจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (SSC) และการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (LSC) โดยได้ทำการทดสอบกับปัญหาทั้งในแบบสองมิติเคลื่อนตัวในระนาบ และสองมิติสมมาตรรอบแกน โดยใช้แบบจำลองดินแบบ Elastic-perfectly plastic material และ Modified cam-clay นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาปัญหาของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งระบบ

สำหรับวิธีการประยุกต์ใช้งานที่ได้ปรับปรุงขึ้นใหม่ ซึ่งใช้โครงข่ายชิ้นส่วนแบบ 15 จุดต่อ พบว่าให้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่ากรณี 6 จุดต่อ และสามารถวิเคราะห์ปัญหาจนถึงค่าการทรุดตัว $S/B = 1$ ซึ่งมากกว่างานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมา

สำหรับกรณี SSC การวิเคราะห์สามารถจำลองกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงและการทรุดตัวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำโดยให้ค่าที่ลู่ออกค่าคงที่ นอกจากนี้ยังได้นำเสนอสมการ Embedment Factor จากผลการวิเคราะห์ปัญหากรณีฐานรากต่อเนื่อง และฐานรากวงกลม ทั้งในแบบ Homogeneous และ Non-homogeneous ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้องกับ ค่าที่ได้จากวิธีเชิงประสบการณ์ที่ใช้อยู่ในทางปฏิบัติ

สำหรับกรณี LSC พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงและการทรุดตัวสำหรับปัญหาฐานรากต่อเนื่อง ฐานรากวงกลม และเสาเข็มตื้น ให้ค่าไม่ลู่ออกค่าคงที่ และมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ (S/B) และได้นำเสนอสมการค่าหน่วยแรงและการทรุดตัว สำหรับปัญหาฐานรากต่อเนื่อง และฐานรากวงกลม กรณี Large Strain ทั้งในแบบ Homogeneous และ Non-homogeneous ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปร S/B และ $(\rho.B)/Su_0$ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้ พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา...2546...

ลายมือชื่อนิสิต..... ธเนศ สุทธิวาริรักษ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4470339821: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS: LARGE STRAIN / PENETRATION / FINITE ELEMENT

THANATE SUTHIWARAPHIRAK : FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR PENETRATION PROBLEMS IN SOIL. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.BOONCHAI UKRITCHON, Sc.D., 244 pp. ISBN 974-17-4466-8.

The objectives of this thesis are to develop a finite element procedure using the practical method, and to apply the improved program for analyzing penetration problems in soil.

The practical method is the application of small strain theory in analyzing large deformation soil problems. The principles of this new method are consisted of automatic mesh generation of 6-noded and 15-noded triangular elements, adaptation mesh generation with error control and state variable mapping for new mesh. In addition, for the analyses of large deformation soil problems, updated coordinates for all of each nodes must be carried out after solving finite element procedure.



The analyses considered two cases: 1) the undeformed soil geometry case or small strain case (SSC); and 2) the deformed soil geometry case or large strain case (LSC). The application is carried out for the 2-D plane strain and axisymmetric problems using elastic-perfectly plastic material and modified cam-clay models including non-homogeneous soil property profile.

The improved practical method using 15-noded triangular elements is more accurate and superior than 6-noded elements and can achieve the simulation having large settlement ratio S/B to 1.0, which is larger than that of past researches.

For SSC case, the analyses are able to simulate load-displacement curve accurately and correctly, where all curves approach to constant values corresponding to the bearing capacity of footing. The regression equations of embedment factor are presented for plane strain and axisymmetric problems in both homogeneous and non-homogeneous cases and the results are founded to match very well with those from empirical methods.

For LSC case, the load-displacement curve of strip footing, circular footing and short pile problems show an increase in bearing capacity with increasing S/B values. The load-displacement equation for plane strain and axisymmetric problems in both homogeneous and non-homogeneous cases are presented. The proposed equations show that the bearing pressure is a function of S/B and $(\rho.B)/Su_0$ values and the comparisons between the equations and FEM simulations correspond well.

Department..... Civil Engineering
Field of study..... Civil Engineering
Academic year..... 2003

Student's signature..... 
Advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏาชน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลา ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ พร้อมทั้งยังช่วยเหลือในการติดต่อและให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.จิรวัดร บุญญะฐี และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำรวมทั้งแสดงข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอแสดงความขอบคุณ ผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ คอยเป็นกำลังใจ และมีส่วนร่วมในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และ ครูบาอาจารย์ ทุกท่านที่ให้การดูแลอบรม สั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ให้กับผู้เขียนตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	น

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. งานวิจัยที่ผ่านมา.....	4
1.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
1.4. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.5. ขอบเขตของงานวิจัย.....	9
1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.7. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	10

บทที่ 2 แนวทางและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.1. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	15
2.2. การสร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนโดยระเบียบวิธีอัตโนมัติ.....	16
2.2.1. โครงข่ายของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม.....	17
2.2.2. สมการอนุกรมเรขาคณิต.....	18
2.2.3. ฟังก์ชันความหนาแน่นของชิ้นส่วน.....	18
2.2.4. การปรับปรุงรูปร่างของชิ้นส่วน.....	19
2.3. แบบจำลองไอโซพาราเมตริกสำหรับชิ้นส่วนสามเหลี่ยม.....	20
2.3.1 ฟังก์ชันการประมาณภายในของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมหกจุดต่อ.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 ฟังก์ชันการประมาณภายในของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมสี่เหลี่ยมหน้าจุดต่อ.....	22
2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด.....	24
2.5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด และการเคลื่อนตัว.....	24
2.6. Finite Element Code ที่ใช้ทำการศึกษา.....	27
2.7. แบบจำลองดินที่ใช้ทำการศึกษา.....	27
2.7.1 ค่าของหน่วยแรงที่ไม่เปลี่ยนแปลง.....	27
2.7.2 Mohr-Coulomb Failure Criterion.....	29
2.7.3 Incrementally Linearized Elasto Plastic Model.....	29
2.7.4 Modified Cam-Clay Model.....	31
2.8. การประมาณค่าความเครียด ณ ตำแหน่งจุดเกาส์ โดยวิธี SPR.....	33
2.9. การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน.....	36
2.10. การประมาณขนาดของชิ้นส่วนที่เหมาะสม.....	37
2.11. การถ่ายโอนค่าของตัวแปรสถานะ.....	39
บทที่ 3 รายละเอียดของโปรแกรม	
3.1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	52
3.2. การสร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนเริ่มต้นโดยระเบียบวิธีอัตโนมัติ.....	53
3.2.1. การสร้างจุดต่อบริเวณขอบเขตของปัญหาโดยสมการอนุกรมเรขาคณิต.....	54
3.2.2. การสร้างจุดต่อบริเวณขอบเขตของปัญหาโดยฟังก์ชันความหนาแน่น.....	54
3.2.3. การเพิ่มจำนวนจุดต่อภายในขอบเขตของปัญหา.....	55
3.2.4. การเชื่อมจุดต่อโครงข่ายของชิ้นส่วนโดยใช้สามเหลี่ยมเดอลอน.....	55
3.2.5. การปรับปรุงฟิวดโครงข่ายของชิ้นส่วน.....	56
3.2.6. การเพิ่มระดับขั้นความละเอียดของชิ้นส่วน.....	56
3.2.7. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา.....	56
3.2.8. โครงข่ายของชิ้นส่วนเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา.....	56
3.3. การกำหนดค่าหน่วยแรงเริ่มต้นภายในขอบเขตของปัญหา.....	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4. การวิเคราะห์ผลเฉลยโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	58
3.5. การปรับปรุงชุดข้อมูล.....	58
3.5.1. การปรับปรุงชุดข้อมูลค่าของหน่วยแรง และความเครียด.....	58
3.5.2. การปรับปรุงค่าพิกัดของโครงข่ายชิ้นส่วน.....	59
3.6. การหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลเฉลยในแต่ละชิ้นส่วน.....	59
3.6.1. การประมาณค่าความเครียด ณ ตำแหน่งจุดเกาส์ โดยวิธี SPR.....	60
3.6.2. การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน.....	61
3.7. การปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน.....	62
3.8. การถ่ายโอนค่าของตัวแปรสถานะ.....	63
3.9. การคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของมวลดิน.....	64
3.10. การป้อนข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ.....	65
3.10.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาวิซวลเบสิก.....	65
3.10.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรน.....	67
3.11. การแสดงผลการวิเคราะห์.....	67
3.11.1. เพิ่มข้อมูลสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ปัญหา.....	68
3.11.2. เพิ่มข้อมูลสำหรับเก็บสำรองข้อมูลในการวิเคราะห์ปัญหาต่อเนื่อง.....	68
บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม	
(การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสีรูปของมวลดิน)	
4.1. บทนำ.....	91
4.2. ขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดิน.....	91
4.3. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	92
4.4. ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสีรูปของมวลดิน.....	92
บทที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม (ต่อ)	
(การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสีรูปของมวลดิน)	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1. บทนำ.....	141
5.2. ขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดิน.....	141
5.3. ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสยุรูปของมวลดิน.....	142
บทที่ 6 สรุป	
6.1. บทนำ.....	188
6.1.1. หลักการของวิธีการประยุกต์ใช้งาน.....	188
6.1.2. ขั้นตอนของวิธีประยุกต์ใช้งานที่ปรับปรุงขึ้นใหม่.....	189
6.1.3. ข้อดีของวิธีการประยุกต์ใช้งาน.....	189
6.2. สรุปปัญหากรณีศึกษา.....	189
6.2.1. ผลการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสยุรูปของมวลดิน (SSC).....	190
6.2.2. ผลการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสยุรูปของมวลดิน (LSC).....	191
6.3. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	192
รายการอ้างอิง.....	193
ภาคผนวก ก.....	195
ภาคผนวก ข.....	208
ภาคผนวก ค.....	230
ภาคผนวก ง.....	240
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	244

สารบัญตาราง

ตารางประกอบ	หน้า
1.1 การจำแนกการวิเคราะห์ปัญหาแบบไร้เชิงเส้น.....	11
4.1 ค่าคุณสมบัติของมวลดินที่ใช้ในตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ (Small Strain).....	100
4.2 ค่าแฟคเตอร์ความลึกของฐานรากต่อเนื่อง (Depth Factor).....	101
4.3 ผลการวิเคราะห์ปัญหา กรณี Small Strain (SSC).....	102
4.4 การเปรียบเทียบค่า N_c ระหว่างการวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายชั้นส่วน 6 จุดต่อ และ 15 จุดต่อ.....	103
5.1 ค่าคุณสมบัติของมวลดินที่ใช้ในตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ (Large Strain).....	153
ง.1 การรวมค่าหน่วยแรงที่ได้จาก FEM กรณีที่ไม่พิจารณาค่าหน่วยน้ำหนัก.....	243
ง.2 การรวมค่าหน่วยแรงที่ได้จาก FEM กรณีที่พิจารณาค่าหน่วยน้ำหนัก.....	243

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ลักษณะของปัญหาที่ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Eulerian Formulation.....	12
1.2 โครงข่ายเอลิเมนต์แบบ Lagrangian และ Eulerian ในสภาพหนึ่งมิติ.....	13
1.3 โครงข่ายเอลิเมนต์แบบ Lagrangian และ Eulerian ในสภาพสองมิติ.....	13
1.4 ข้อเสียของโครงข่ายเอลิเมนต์แบบลากรานเกียน (Lagrangian Mesh).....	14
2.1 ความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	42
2.2 การสร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนโดยใช้สามเหลี่ยมเดอลอน.....	42
2.3 รายละเอียดของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเดอลอน.....	43
2.4 การควบคุมความหนาแน่นของโครงข่ายของชิ้นส่วน.....	44
2.5 พิกัดของจุดต่อ i และพิกัดข้างเคียงสำหรับ Laplacian Mesh Smoothing.....	44
2.6 ผลของการปรับปรุงรูปร่างของโครงข่ายชิ้นส่วนโดยวิธี Laplacian Mesh Smoothing.....	45
2.7 โครงข่ายของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมสลิปหน้าจุดต่อ.....	45
2.8 การจัดเรียงตำแหน่งจุดเกาส์ของชิ้นส่วน.....	46
2.9 Mohr-Coulomb Failure Criterion.....	46
2.10 การปรับแก้ค่าของหน่วยแรงสำหรับวัตถุที่เข้าสู่ภาวะพลาสติก.....	47
2.11 แบบจำลอง Elastic-Perfectly Plastic Material.....	47
2.12 Yield Function ของแบบจำลอง Modified Cam-Clay.....	48
2.13 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง Modified Cam-Clay.....	48
2.14 ตำแหน่งของกลุ่มจุดเกาส์ ที่มีอิทธิพลรอบจุดต่อที่ต้องการพิจารณา สำหรับ โครงข่ายของชิ้นส่วน 6 จุดต่อ.....	49
2.15 ตำแหน่งของกลุ่มจุดเกาส์ ที่มีอิทธิพลรอบจุดต่อที่ต้องการพิจารณา สำหรับ โครงข่ายของชิ้นส่วน 15 จุดต่อ.....	50
2.16 การถ่ายโอนค่าของตัวแปรสถานะ.....	51
3.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมหลัก.....	69
3.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม สร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนโดยระเบียบวิธีอัตโนมัติ (ขั้นตอน ก: โครงข่ายของชิ้นส่วนควบคุมโดยสมการความหนาแน่น).....	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.3 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม สร้างโครงข่ายของชั้นส่วนโดยระเบียบวิธีอัตโนมัติ (ขั้นตอน ข: โครงข่ายของชั้นส่วนเริ่มต้นในการวิเคราะห์ปัญหา).....	71
3.4 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมเพิ่มจุดต่อและปรับปรุงพิกัดภายในโครงข่ายของปัญหา.....	72
3.5 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม ถ่ายโอนค่าตัวแปรสถานะจากจุดต่อของชั้นส่วนเดิมไปสู่จุดเกาส์ของชั้นส่วนใหม่.....	73
3.6 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม Superconvergent Patch Recovery of Strain (SPR).....	74
3.7 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูล จำนวนและตำแหน่งของจุดต่อ.....	75
3.8 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา.....	76
3.9 หมายเลขและตำแหน่งของจุดต่อ ในแต่ละชั้นส่วน.....	77
3.10 ตำแหน่งตัวอย่างของจุดรวมชั้นส่วน A, B และ C ตามลำดับ.....	78
3.11 ชั้นส่วนที่อยู่ล้อมรอบ หรือ ชั้นส่วนที่มีอิทธิพลต่อ จุดรวมชั้นส่วน.....	78
3.12 จุดต่อภายในกลุ่มของชั้นส่วนที่ต้องการทราบค่าความเครียด SPR สำหรับโครงข่ายของชั้นส่วน 6 จุดต่อ.....	79
3.13 จุดต่อภายในกลุ่มของชั้นส่วนที่ต้องการทราบค่าความเครียด SPR สำหรับโครงข่ายของชั้นส่วน 15 จุดต่อ.....	79
3.14 การรวมค่าแรงกระทำบนจุดต่อของชั้นส่วนทั้งหมด ภายใต้ฐานรองรับ.....	80
3.15 หน้าจอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาวิซวลเบสิกสำหรับการป้อนข้อมูล.....	81
3.16 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายของชั้นส่วน (วงรอบที่ 1).....	85
3.17 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายของชั้นส่วน (วงรอบที่ 2).....	86
3.18 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายของชั้นส่วน (วงรอบที่ 3).....	87
3.19 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายของชั้นส่วน (วงรอบที่ 4).....	88
3.20 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายของชั้นส่วน (วงรอบที่ 5).....	89
3.21 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายของชั้นส่วน (วงรอบที่ n).....	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.1 ค่า Bearing Capacity Factor, N_c ของ Embedded Footing (Skempton's equation, 1951).....	104
4.2 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	105
4.3 การเปรียบเทียบค่า N_c ระหว่างวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และ วิธี Empirical Method ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC).....	106
4.4 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 6 จุดต่อ.....	107
4.5 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	108
4.6 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.075$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	109
4.7 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.125$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	110
4.8 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.25$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	111
4.9 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.5$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	112
4.10 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=1$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	113
4.11 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=3$ ระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยม 15จุดต่อ และ 6 จุดต่อ.....	114
4.12 ผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากต่อเนื่องกรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.5$ (15 Node).....	115
4.13 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	116

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.14 การเปรียบเทียบค่า N_c ระหว่างวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และ วิธี Empirical Method ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC).....	117
4.15 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	118
4.16 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.075$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	119
4.17 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.125$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	120
4.18 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.175$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	121
4.19 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.25$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	122
4.20 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.5$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	123
4.21 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=1$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	124
4.22 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=2$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	125
4.23 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=3$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	126
4.24 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=4$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	127
4.25 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=5$ คำนวณโดยใช้โครงข่ายสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ.....	128
4.26 ผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากวงกลมกรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=0.5$ (15 Node).....	129

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.27 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลมผิวหยาบปลายแหลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=1$ (15 Node).....	130
4.28 Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลมผิวหยาบปลายแหลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B=2.5$ (15 Node).....	131
4.29 อัตราการ Convergence ของ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลมผิวหยาบปลายแหลม กรณี Small Strain (SSC) ที่ $D/B = 1$ และ 2.5	132
4.30 ผลของค่า Tolerance ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c และ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (Execution Time).....	133
4.31 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$	134
4.32 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 1$	135
4.33 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$	136
4.34 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 4$	137
4.35 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$	138
4.36 Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 16$	139
4.37 การเปรียบเทียบค่า F_{net} / B ระหว่างวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธี Empirical Method ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous.....	140
5.1 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve และความสัมพันธ์ระหว่าง Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง.....	154

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

5.2 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) เมื่อ $D/B=0$, $D/B=3$ และ $D/B=5$ ตามลำดับ.....	155
5.3 การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=0$	156
5.4 การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=3$	157
5.5 การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=5$	158
5.6 การเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น กับผลการวิเคราะห์ที่ได้...	159
5.7 ผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ที่ $D/B=0$ (15 Node).....	160
5.8 ผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ที่ $D/B=0$ (6 Node).....	161
5.9 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$	162
5.10 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 1$	163
5.11 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$	164
5.12 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 4$	165
5.13 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$	166
5.14 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 16$	167

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.15 ผลต่างของค่า Bearing Capacity จากการวิเคราะห์ปัญหา SSC และ LSC ของฐานรากต่อเนื่อง (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$ และ 1.....	168
5.16 ผลต่างของค่า Bearing Capacity จากการวิเคราะห์ปัญหา SSC และ LSC ของฐานรากต่อเนื่อง (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$ และ 4.....	169
5.17 ผลต่างของค่า Bearing Capacity จากการวิเคราะห์ปัญหา SSC และ LSC ของฐานรากต่อเนื่อง (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$ และ 16.....	170
5.18 การเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 กับผลการวิเคราะห์ที่ได้.....	171
5.19 การเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 4, 8 และ 16 กับผลการวิเคราะห์ที่ได้.....	172
5.20 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$	173
5.21 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 1$	174
5.22 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$	175
5.23 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 4$	176
5.24 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$	177
5.25 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 16$	178
5.26 ผลต่างของค่า Bearing Capacity จากการวิเคราะห์ปัญหา SSC และ LSC ของฐานรากวงกลม (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$ และ 1.....	179
5.27 ผลต่างของค่า Bearing Capacity จากการวิเคราะห์ปัญหา SSC และ LSC ของฐานรากวงกลม (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$ และ 4.....	180

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.28 ผลต่างของค่า Bearing Capacity จากการวิเคราะห์ปัญหา SSC และ LSC ของฐานรากวงกลม (Non-Homogeneous) ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$ และ 16.....	181
5.29 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 20$	182
5.30 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของแท่งกรวยทรงกระบอก ปลายแหลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC).....	183
5.31 ผลของการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (Mesh Adaptation) ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c	184
5.32 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ซึ่งเริ่มต้นวางที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน.....	185
5.33 ผลของค่า $\Delta S / B$ ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c	186
5.34 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี SSC และ LSC ที่ $D/B=0$ โดยใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay.....	187
ก.1 เปรียบเทียบจำนวนจุดต่อ และชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=0$ กรณี Small Strain ระหว่างชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 และ 15 จุดต่อ.....	196
ก.2 การเปรียบเทียบโครงข่ายของชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง $D/B = 0$ กรณี Small Strain (SSC).....	197
ก.3 Failure zone $(\sigma_1 - \sigma_3) / (2s_u)$ ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=0$ วิเคราะห์โดย หลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	198
ก.4 ทิศทางของความเค้นหลักเทียบกับแนวแกนตั้ง (δ , องศา) ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=0$ วิเคราะห์โดยหลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	199
ก.5 กราฟ Contour ของความเค้นแนวแกนตั้ง (σ_v/s_u) ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=0$ วิเคราะห์โดยหลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	200
ก.6 ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=0$ วิเคราะห์โดย หลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	201

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ก.7 เปรียบเทียบจำนวนจุดต่อ และชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=2$ กรณี Small Strain ระหว่างชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 และ 15 จุดต่อ.....	202
ก.8 การเปรียบเทียบโครงข่ายของชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง $D/B = 2$ กรณี Small Strain (SSC).....	203
ก.9 Failure zone $(\sigma_1 - \sigma_3) / (2s_u)$ ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=2$ วิเคราะห์โดย หลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	204
ก.10 ทิศทางของความเค้นหลักเทียบกับแนวแกนตั้ง (δ , องศา) ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=2$ วิเคราะห์โดยหลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	205
ก.11 กราฟ Contour ของความเค้นแนวแกนตั้ง (σ_v / s_u) ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=2$ วิเคราะห์โดยหลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	206
ก.12 ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=2$ วิเคราะห์โดย หลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย (SSC).....	207
ข.1 เปรียบเทียบจำนวนจุดต่อ และชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=0$ กรณี Large Strain ระหว่างชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 และ 15 จุดต่อ.....	209
ข.2 โครงข่ายของชิ้นส่วนฐานรองรับต่อเนื่องวางบนผิวดิน จากการวิเคราะห์ปัญหา การเคลื่อนตัวมากของมวลดิน (LSC).....	210
ข.3 โครงข่ายชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่องวางบนผิวดิน กรณี LSC ที่ $S/B=1.0$	214
ข.4 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของฐานรากต่อเนื่อง วางบนผิวดิน กรณี LSC.....	215
ข.5 เปรียบเทียบจำนวนจุดต่อ และชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง ที่ $D/B=5$ กรณี Large Strain ระหว่างชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 และ 15 จุดต่อ.....	217
ข.6 โครงข่ายของชิ้นส่วนฐานรองรับต่อเนื่อง $D/B=5$ จากการวิเคราะห์ปัญหา การเคลื่อนตัวมากของมวลดิน (LSC).....	218
ข.7 โครงข่ายชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=5$ กรณี LSC ที่ $S/B=1.0$	220
ข.8 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของฐานรากต่อเนื่อง $D/B=5$ กรณี LSC.....	221
ข.9 โครงข่ายชิ้นส่วนของกรอบคดโค้งทรงกระบอกปลายแหลม จากการวิเคราะห์ปัญหาการเคลื่อนตัวมากของมวลดิน (LSC).....	222

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ข.10 โค้งข่ายชิ้นส่วนของการทดสอบกดแท่งกรวยทรงกระบอกปลายแหลม กรณี LSC ที่ $S/B = 0.3$	224
ข.11 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของการทดสอบกดแท่งกรวยทรงกระบอก ปลายแหลมกรณี LSC.....	225
ข.12 โค้งข่ายของชิ้นส่วนฐานรองรับต่อเนื้องวางบนผิวดิน กรณี LSC สำหรับ ปัญหา Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 20$	227
ข.13 โค้งข่ายชิ้นส่วนของฐานรากต่อเนื้องวางบนผิวดิน กรณี LSC ที่ $S = 4.0$ เมตร ปัญหา Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0 = 20$	229
ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง รูปร่างเริ่มต้น และ รูปร่างภายหลังเกิดการเสียรูป.....	239
ค.2 Physical Meaning สำหรับ Stress Tensor ชนิดต่าง ๆ.....	239

สัญลักษณ์

ALE	Arbitrary Lagrangian-Eulerian Formulation
$[A]$	เมทริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกและความเค้นของชิ้นส่วน
B	ความกว้างของฐานราก
B'	ครึ่งหนึ่งของความกว้างของฐานราก
$[B]$	เมทริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและเวกเตอร์ของการเคลื่อนตัว
c_1	คือ ค่า Characteristic Length ที่ตำแหน่งจุดต่อที่ 1
c_n	ค่า Characteristic Length ที่ตำแหน่งจุดต่อที่ n
CU	ค่าความเชื่อมแน่นของดิน Cohesion (c)
C_TOP	ค่าความเชื่อมแน่นของดิน ที่ขอบเขตบนสุดของปัญหา (กรณี Non-Homogeneous)
C_BOT	ค่าความเชื่อมแน่นของดิน ที่ขอบเขตล่างสุดของปัญหา (กรณี Non-Homogeneous)
$[C]$	เมทริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
d_i	ระยะห่างระหว่างจุดต่อที่ i และ $(i + 1)$ จากการคำนวณโดยสมการอนุกรมเรขาคณิต
$DET_{, }$	ค่าสมบรูณ์, Determinant
DIS	ขนาดของการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น (ΔS)
D_c	Isotropic Linear Elastic Stress-Strain Relations
D_p	Plastic Stress-Strain Relations
D_{PL}	Elasto-Plastic Stress-Strain Relations
D, D_f	ระยะความลึกจากฐานรองรับถึงผิวดิน (Depth footing)
E	โมดูลัสของการยืดหยุ่น Young's modulus
E_{ij}	Green-Lagran Strain Tensor
$EPK0$	Earth pressure coefficient (K_0)
$\ e_a\ $	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ในแต่ละชิ้นส่วน
$\ e_{2g}^*\ $	ขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมทั้งระบบ
$\ e_{2l}^*\ $	ขนาดของความคลาดเคลื่อนในแต่ละชิ้นส่วน
F_{cd}	Cohesion depth factor
F_{mc}	Mohr-Coulomb Failure Criterion
$\{F\}$	เวกเตอร์ของแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุ (Body Force Traction)
f	ค่าปรับแก้หน่วยแรงภายในของวัตถุ
f_d	ฟังก์ชันความหนาแน่นของชิ้นส่วน

สัญลักษณ์ (ต่อ)

F_{NEW}	ค่าของหน่วยแรงที่กระทำ ณ ช่วงเวลาถัดไป
F_{OLD}	ค่าของหน่วยแรงที่มีอยู่เดิม
$GAMMA$	หน่วยน้ำหนักของมวลดิน (γ)
h_{ncw}	ขนาดของชั้นส่วนใหญ่สุดที่ยอมให้
h_{old}	ขนาดของชั้นส่วนเดิม
$HOMO$	ค่าของตัวแปรบอกชนิดของการวิเคราะห์ปัญหาว่าเป็นแบบ Homogeneous หรือ Non-Homogeneous
$INCS$	จำนวนรอบของการคำนวณ
$KAPP$	ค่าความชันของกราฟ Overconsolidation Line (κ)
$[K]$	สทิฟเนสเมทริกกรรมของระบบ
$LAMB$	ค่าความชันของกราฟ Normal Consolidation Line (λ)
LSC	การวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธีการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับหลักการของ Large Strain
MCC	ค่าของตัวแปรบอกชนิดของแบบจำลองมวลดิน Modified Cam-Clay
M_F	ค่าของตัวแปรบอกชนิดของการวิเคราะห์ปัญหา
N	ฟังก์ชันการประมาณภายในของชั้นส่วน
NCE	จำนวนจุดต่อทั้งหมด ณ ขอบเขตของปัญหา
Ne	จำนวนชั้นส่วนในระบบ
nip	จำนวนจุดเกาส์ในแต่ละชั้นส่วน
NP_i	หมายเลขจุดรวมชั้นส่วน i
$NPTS$	จำนวนจุดต่อทั้งหมดในระบบ
p'_c	Preconsolidation Pressure
P	กำลังพหุนามของฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function Polynomial)
PHI	มุมเสียดทานภายในของดิน angle of internal friction (ϕ)
PSI	Dilation angle (φ)
RUN	ค่าตัวแปรเพื่อใช้ในการคำนวณต่อเนื่อง
q_{nct}	ค่ากำลังรับน้ำหนักของมวลดินสุทธิภายใต้ฐานรองรับ
q_u	ค่ากำลังรับน้ำหนักรวมของมวลดินภายใต้ฐานรองรับ
r	ค่าอัตราส่วนเรขาคณิต

สัญลักษณ์ (ต่อ)

r_i	ค่าพิกัดของแต่ละจุดต่อของชิ้นส่วนจากแกนฐานรากวงกลม
S	ค่าการทรุดตัวภายใต้ฐานรองรับ (Settlement)
S_{ij}	2 nd Piola-Kirchoff Stress Tensor
ΔS	ขนาดของการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น
$SNAC$	Soil Nonlinear Analysis Code
SPR	Superconvergent Patch Recovery
SSC	การวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธีการประยุกต์ใช้งาน และใช้หลักการของ Small Strain
S_F	ค่าของตัวแปรบอกลักษณะรูปร่างของฐานรองรับ
T_F	ค่าของตัวแปรบอกชนิดผิวสัมผัสระหว่างมวลดินกับฐานรองรับ
TL	Total Lagrangian Formulation
T_{ij}	1 st Piola-Kirchoff Stress Tensor
UL	Updated Lagrangian Formulation
$\{U\}$	เวกเตอร์ของการเคลื่อนตัว
ΔU	ค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อของแต่ละชิ้นส่วน ($\Delta x, \Delta y$)
$\ U_{2g}^*\ $	ขนาดของค่าความเครียดของชิ้นส่วนโดยรวมทั้งระบบ
$\ U_{2l}^*\ $	ขนาดของค่าความเครียดในแต่ละชิ้นส่วน
V_h	ค่าตัวแปรสถานะ ณ ตำแหน่งจุดเกาส์ที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
V_n^*	ค่าตัวแปรสถานะ ณ ตำแหน่งจุดต่อที่พิจารณา
V^+	ค่าตัวแปรสถานะที่จุดเกาส์ของชิ้นส่วนใหม่ ซึ่งได้จากการถ่ายโอน
$VOID$	ค่า Void Ratio (e_n)
$VSTOP$	ตัวแปรของชุดข้อมูลในการแสดงสถานะการทำงานของโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน
η_a	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์โดยรวมที่ยอมให้
η_g^*	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์โดยรวม
γ	ความเครียดเฉือน
ε	ความเครียด (Strain)
ε_{ij}	Small Deformation Strain Tensor
$\Delta\varepsilon_h$	ค่าของความเครียดที่เพิ่มขึ้น ณ จุดเกาส์ ที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
$\Delta\varepsilon^*$	ค่าความเครียด SPR ณ ตำแหน่งจุดเกาส์ ของชิ้นส่วน
$\Delta\varepsilon_n^*$	ค่าความเครียด SPR ณ ตำแหน่งจุดต่อ ของชิ้นส่วน

สัญลักษณ์ (ต่อ)

ν	อัตราส่วนปัวซองของ Poisson's Ratio
σ	ความเค้น (Stress)
σ_{ij}	Cauchy Stress Tensor
$\Delta\sigma_h$	ค่าของหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น ณ จุดเกาส์ ที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
[]	เมทริกซ์เหลี่ยม
[]	เมทริกซ์แถว
{ }	คอลัมน์เมทริก
[] ⁻¹	เมทริกซ์ผกผัน (Inverse matrices)