# การพัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการออกแบบกำแพงกันดิน

นายณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4290-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# DEVELOPMENT OF FINITE ELEMENT PROGRAM FOR DESIGNING OF RETAINING STRUCTURE

Mr.Narongdej Intaratchaiyakit

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 974-17-4290-8

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการออกแบบกำแพงกันดิน |
| โดย | นายณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมโยธา |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฎชน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ฐิรวัตร บุญญะฐี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ : การพัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการออกแบบกำแพงกันดิน (DEVELOPMENT OF FINITE ELEMENT PROGRAM FOR DESIGNING OF RETAINING STRUCTURE) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล, 92 หน้า. ISBN 974-17-4290-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างกำแพงกันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาเข็มพืดและงานขุดดินที่มีระบบค้ำยัน โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ Visual Basic และVisual Fortran

การวิเคราะห์ปัญหาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับเข็มพืดและงานขุดดินที่มีระบบค้ำยันด้วยแบบจำลองดิน Beam On Elastic Foundation และใช้ Soil Model ชนิด Elastic Plastic ซึ่งเป็นวิธีการช่วยลดโมเมนต์ที่กระทำกับโครงสร้างกำแพงกันดิน เนื่องจากผลรวมโมเมนต์รอบระดับดินขุดมีค่าน้อยกว่าวิธี Free Earth Method เพราะมีแขนโมเมนต์ที่สั้นกว่าทำให้การออกแบบประหยัด

ซึ่งการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างกำแพงกันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ หากต้องการผลการคำนวณให้มีความละเอียดและถูกต้องสูง จะต้องทำการแบ่งชิ้นส่วนให้ถี่ๆ โดยเฉพาะระยะฝังของระบบโครงสร้างกำแพงกันดิน เนื่องจากเสถียรภาพของกำแพงกันดินจะขึ้นอยู่กับ Soil Spring ซึ่งช่วยต้านทานการเคลื่อนตัวของกำแพง บางครั้งการก่อสร้างไม่สามารถฝังโครงสร้างกำแพงกันดินให้ลึกได้ แต่ก็สามารถทำโดยใช้ระบบค้ำยัน

ในการพัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการออกแบบกำแพงกันดินนี้ ได้มีการทำงานแบบ Graphical User Interface (GUI) ผู้ใช้สามารถป้อนค่าผ่านทางตารางหน้าจอที่ได้จัดทำขึ้นและคำนวณผลลัพธ์ของค่าต่างๆออกมาทางตารางหน้าจอที่ได้จัดทำขึ้น เช่น ค่า Moment, Spring Force, Displacement ที่ Node ต่างๆ ของระบบโครงสร้างระบบกำแพงกันดิน, สามารถแสดงผลทางกราฟ นอกจากนี้ยังสามารถ Open, Save และ Print ข้อมูลออกมาทางเครื่องพิมพ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2546

## 4570301021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: RETAINING STRUCTURE / BEAM ON ELASTIC FOUNDATION THEORY / SUBGRADE MODULUS / FINITE ELEMENT

NARONGDEJ INTARATCHAIYAKIT : DEVELOPMENT OF FINITE ELEMENT PROGRAM FOR DESIGNING OF RETAINING STRUCTURE. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SUPOT TEACHAVORASINSKUN, D.Eng., 92 pp. ISBN 974-17-4290-8.

The objective of this study is to provide a simple analytical tool for assisting engineer in designing of retaining structures. The tool adopts the concept of beam on elastic foundation to analyze deformation and sectional forces. User friendly pre - and-post processing windows are also provided to aid user in conducting the analysis.

The developed finite element method software enables elastic plastic behavior of soil to be taken into account. It deals with multiple soils layer problems. Bracing system can be taken into account. Nevertheless, stability problem can not be treated.

The analytical results were compared to several existing closed form solutions and simplified analytical methods, such as the free-earth and fix-earth methods. It was found that the results obtained from the program satisfactorily agree well to these obtained from the existing simplified method. This ensures the applicability and correctness of the developed tools.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Civil Engineering Student's signature NARONGDEJ INTARATCHAIYAKIT

Field of study Civil Engineering Advisor's signature Supot T.

Academic year 2003

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ ต้องขอแสดงความขอบคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุลในฐานะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยและวิธีการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาสละเวลา และให้คำแนะนำรวมทั้งให้ข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

บิดา-มารดา และครอบครัว สำหรับ แรงกาย แรงใจ และทุนทรัพย์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้เอ่ยถึงในที่นี้ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฐ

**บทที่**

บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมา ..... 1
1.2 ความสำคัญของปัญหา ..... 1
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ..... 2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย ..... 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ..... 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

บทที่ 2 แนวทางและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย ..... 4
2.1 โครงสร้างที่ถูกออกแบบรับแรงดันดินด้านข้าง ..... 4
2.1.1 โครงสร้างที่เป็นลักษณะกำแพงกันดินแบบถาวร ..... 4
2.1.2 โครงสร้างที่เป็นลักษณะกำแพงกันดินแบบชั่วคราว ..... 4
2.1.2.1 โครงสร้างกำแพงกันดินชนิดที่ระบบไม่มีค้ำยัน ..... 4
2.1.2.2 โครงสร้างกำแพงกันดินชนิดที่มีระบบค้ำยัน ..... 4
2.2 ระบบกำแพงกันดินในงานขุดดิน ..... 4
2.2.1 ระบบกำแพงยืดหยุ่น(Flexible Wall) ..... 4
2.2.2 ระบบกำแพงแบบแข็ง(Rigid Wall) ..... 4
2.3 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันด้านข้าง ..... 5
2.3.1 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินข้างแบบสถิต (At Rest Pressure) ..... 5
2.3.2 การคาดคะเนหน่วยแรงด้านข้างโดยหลักการของ Rankine ..... 7
2.3.2.1 การวิบัติแบบ Active Earth Pressure ..... 7

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

2.3.2.2 การวิบัติแบบ Passive Earth Pressure ..... 9
2.3.3 การคาดคะเนหน่วยแรงด้านข้างโดยหลักการของ Coulomb ..... 11
2.3.3.1 เหมาะสำหรับ Homogeneous & Isotropic Soil ที่มีค่า cohesion ..... 11
2.3.3.2 Wall Friction ( δ ) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ มากกว่าศูนย์ ก็ได้ ..... 11
2.3.3.3 Failure Wedge หรือ Sliding Wedge เป็น Rigid Body ..... 11
2.3.3.4 Failure Surface เป็น Plane Surface ..... 11
2.4 การเคลื่อนตัวของมวลดินเข้าในหลุมขุด(HEAVE EFFECT) ..... 15
2.4.1 Terzaghi Heave Theory ..... 16
2.4.2 Heave In Deep Cofferdam ..... 17
2.5 Modulus of Subgrade Reaction ($K_S$) ..... 18
2.6 Finite Element Solution of Beam on Elastic Foundation ..... 33
2.6.1 General Equations In Solution ..... 33
2.6.2 Developing the Element A Matrix ..... 35
2.6.3 Developing the Element S Matrix ..... 36
2.6.4 Developing the Element SAT and ASAT Matrix ..... 37
2.6.5 Developing the P Matrix ..... 40
2.7 Sheet pile Walls Cantilevered, Anchored and Braced Cut Excavation ..... 40
2.7.1 Soil Property For Sheet Pile Wall ..... 41
2.7.2 Stability Number For Sheet Pile Wall ..... 43
2.7.3 Finite Element For Sheet Pile Wall ..... 44
2.7.4 Finite Element For Braced Cut Excavation ..... 46

บทที่ 3 วิธีการใช้โปรแกรม Design Retaining Structure And Braced Cut Excavation Programming ..... 48
3.1 ลักษณะของโปรแกรม ..... 48
3.1.1 ลักษณะทั่วไปและข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ..... 48
3.1.2 ขอบเขตของการพัฒนาโปรแกรม ..... 48
3.2 การป้อนข้อมูล ,การเปิด ,การบันทึก ,การแสดงผลข้อมูลออกมาทางเครื่องพิมพ์ของโปรแกรม ..... 49
3.2.1 การป้อนข้อมูลให้กับ Title(Form1) ..... 52

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.2.1.1 องค์ประกอบ Title(Form1) ..... 52

3.2.2 การป้อนข้อมูลให้กับ Input Data Soil (Form2) ..... 55

3.2.2.1 องค์ประกอบของ Input Data Soil (Form2) ..... 55

3.2.3 การป้อนข้อมูลให้กับ Input Boundary Condition(Form3) ..... 57

3.2.3.1 องค์ประกอบของ Input Boundary Condition(Form3) ..... 58

3.2.4 Input Soil Spring , Anchorage Rod or Strut spring (Form4) ..... 61

3.2.4.1 องค์ประกอบของ Input Soil Spring ,Anchorage Rod or Strut spring(Form4) ..... 61

3.2.5 การพิจารณา Result Calculate ( Form5 ) ..... 63

3.2.5.1 องค์ประกอบของ Result Calculate ( Form5 ) ..... 63

3.2.6 การพิจารณา Plot Graphic ( Form6 ) ..... 64

3.2.6.1 องค์ประกอบของ Plot Graphic ( Form6 ) ..... 65

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ ..... 71

4.1 สรุปผลการวิจัย ..... 71

4.2 ข้อเสนอแนะ ..... 71

รายการอ้างอิง ..... 72

ภาคผนวก ..... 74

ภาคผนวก ก. การเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณโดยวิธี Free Earth Methodกับวิธี Finite Element Method ..... 75

ก.1 ทำการกรอกค่าลงในรูปที่ ก.4 Title (Form1) ..... 80

ก.2 การกรอกค่าลงในรูปที่ ก.6 Input Data Soil (Form2) ..... 82

ก.3 การกรอกค่าลงในรูปที่ ก.7 Input Boundary Condition (Form3) ..... 83

ก.4 การกรอกค่าลงในรูปที่ ก.9 Input Soil Spring, Anchorage Rod or Strut spring (Form4) ..... 85

ก.5 การพิจารณารูปที่ ก.10 Result Calculate (Form5) ..... 86

ก.6 การพิจารณารูปที่ ก.11 Plot Graphic (Form6) ..... 87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ช่วงของค่า Modulus Subgrade of Reaction ($K_S$) (Joseph E. Bowles) ..... 20

ตารางที่ 2.2 ค่า Modulus Subgrade of Reaction ($K_S$) จากการทดสอบด้วย Plate จัตุรัสขนาด 1 ฟุต $K_{S1}$ ของดินเหนียวชนิด Over Consolidate Clay ที่เสนอโดย Terzaghi (1955)..... 21

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า $n_h$ (Terzaghi, 1955) ..... 22

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า $l_h$ , (Terzaghi, 1955) ..... 23

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า $\alpha$ (H.Tsuge and M.Tanaka, 1995) ..... 25

ตารางที่ 2.6 แสดงช่วงของค่า $\mu$ ..... 28

ตารางที่ 2.7 แสดงช่วงของค่า $E_s$ (Joseph E.Bowles) ..... 30

ตารางที่ 2.8 แสดงช่วงของค่า $E_s$ (KPA) โดยใช้ค่า SPT, CPT ..... 30

ตารางที่ 2.8 (ต่อ) แสดงช่วงของค่า $E_s$ (KPA) โดยใช้ค่า SPT, CPT ..... 30

ตารางที่ 2.9 แสดงค่า $K_s$ (Heluin, 1991) ..... 31

ตารางที่ 2.10 Friction Angle Various Foundation Material and Soil or Rock ..... 42

ตารางที่ ก.1 ตารางที่ ก.1 แสดงผลการคำนวณ1 Cantilever Sheet Pile and Anchor Rod โดยวิธีFree Earth Method กับวิธี Finite Element Method ..... 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 ค่า $K_o$ เป็นฟังก์ชันกับ OCR และค่า PI (Brooker & Ireland, 1965) ..... 6
รูปที่ 2.2 เป็นฟังก์ชันของ $K_o$ และOCR กับ ค่า PI (Laddd et al, 1977) ..... 7
รูปที่ 2.3 Active Rankine Pressure ..... 8
รูปที่ 2.4 Passive Rankine Pressure ..... 10
รูปที่ 2.5 รูปแรงดันข้างในดินในสภาวะ Active ของ Coulomb กรณีไม่มีน้ำใต้ดินและน้ำหนักกระทำ ..... 11
รูปที่ 2.6 รูปแรงดันข้างในดินในสภาวะ Passive ของ Coulomb กรณีไม่มีน้ำใต้ดินและน้ำหนักกระทำ ..... 12
รูปที่ 2.7 วิธีการคิดแรงดันดิน (Earth Pressure Diagram) ..... 13
รูปที่ 2.8 Pressure Diagram เสนอโดย Terzaghi & Peck (1967) ..... 14
รูปที่ 2.9 Pressure Diagram Pressure Diagram เสนอโดย Tschebotarioff ..... 14
รูปที่ 2.10 แสดง Heave Effect By Teng 's (1980) ..... 15
รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ Factor of Safety Against Basal Heave โดยวิธีของ Terzaghi ..... 17
รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกวิกฤต กับ ค่า $N_C$ (Skempton, 1954) ..... 18
รูปที่ 2.13 การหาค่า Modulus of Subgrade Reaction ($K_S$) ..... 18
รูปที่ 2.14 External (Nodal) and Internal (Member) Finite Element ..... 33
รูปที่ 2.15 Simple Beam ..... 35
รูปที่ 2.16 Conjugate Beam ..... 37
รูปที่ 2.17 Flexible Wall ..... 40
รูปที่ 2.18 รูปแบบแรงกระทำของดินต่อเข็มพืด ..... 41
รูปที่ 2.19หน้าตัดเข็มพืด ..... 43
รูปที่ 2.20 Finite Element Model for Either a Cantilever or Anchored (Include Multiple Anchored) Sheet pile Wall. Both Soil and Anchored Rod Spring are Input Nodal Entry ..... 45
รูปที่ 2.21 Development of Anchor-Rod " Spring " Based on Spring, Cross Section Area A, Modulus of Elasticity E, and length L ..... 45
รูปที่ 2.22 Braced Sheeting or Cofferdam for Excavation ..... 47
รูปที่ 3.1 ตัวอย่าง สำหรับ braced sheet pile system ..... 51
รูปที่ 3.2 Title (Form1) ..... 52
รูปที่ 3.3 Data Analysis ..... 54

# สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.3 Data Analysis ..... 54
รูปที่ 3.4 Input Data Soil (Form2) ..... 55
รูปที่ 3.5 Input Boundary Condition (Form3) ..... 57
รูปที่ 3.6 Form KS ..... 59
รูปที่ 3.7 Input Soil Spring, Anchorage Rod or Strut spring (Form4) ..... 61
รูปที่ 3.8 Result Calculate (Form5) ..... 63
รูปที่ 3.9 Plot Graphic (Form64) ..... 64
รูปที่ 3.10 Plot Moment (KN-M/M) ..... 65
รูปที่ 3.11 Plot Moment (KN-M/M) โดยการปรับสเกลใหม่ ..... 66
รูปที่ 3.12 Plot Spring Force (KN) ..... 67
รูปที่ 3.13 Plot Spring Force (KN) โดยการปรับสเกลใหม่ ..... 68
รูปที่ 3.14 Displacement (M) ..... 69
รูปที่ 3.15 Displacement (M) โดยการปรับสเกลใหม่ ..... 70
รูปที่ ก.1 Cantilever Sheet Pile and Anchor Rod ..... 75
รูปที่ ก.2 Moment Reduction Curve ..... 78
รูปที่ ก.3 Cantilever Sheet Pile and Anchor Rod โดยการวิเคราะห์ด้วย วิธี Finite Element Method ..... 79
รูปที่ ก.4 Title (Form1) ..... 80
รูปที่ ก.5 Data Analysis ..... 81
รูปที่ ก.6 Input Data Soil (Form2) ..... 82
รูปที่ ก.7 Input Boundary Condition(Form3) ..... 83
รูปที่ ก.8 Form KS ..... 84
รูปที่ ก.9 Input Soil Spring, Anchorage Rod or Strut spring (Form4) ..... 85
รูปที่ ก.10 Result Calculate (Form5) ..... 86
รูปที่ ก.11 Plot Graphic (Form6) ..... 87
รูปที่ ก.12 Plot Graphic Moment (KN-M/M) ..... 88
รูปที่ ก.13 Plot Graphic Spring Force (KN) ..... 89
รูปที่ ก.14 Plot Graphic Displacement (M) ..... 90