โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีสกายลายน์ฟรอนทัล เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์

นาย สุภัทร์ อุทัยวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-126-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015429

i 10301720

A SKYLINE FRONTAL SOLVER MICROCOMPUTER PROGRAM FOR STRUCTURAL FINITE ELEMENT ANALYSIS

Mr. Supat Uthaiwat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-126-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีสกายลายน์ฟรอนทัล เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์
โดย	นาย สุภัทร์ อุทัยวัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุภัทร์ อุทัยวัฒน์ : โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีสกายลายน์ฟรอนทัลเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์ (A SKYLINE FRONTAL SOLVER MICROCOMPUTER PROGRAM FOR STRUCTURAL FINITE ELEMENT ANALYSIS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์, 226 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์ (Finite Element) ด้วยวิธีสกายลายน์ฟรอนทัล (Frontal Skyline Method) ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีฟรอนทัล (Frontal Method) กับการเก็บสัมประสิทธิ์ของสติฟเนสเมตริกซ์แบบสกายลายน์ (Compact Skyline Storage) วิธีนี้เป็นการใช้หน่วยความจำหลักให้มีประโยชน์มากที่สุด ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีจุดต่อมาก ๆ ได้ และอาจทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงาน

วิธีสกายลายน์ฟรอนทัลนั้น เป็นการรวม (Assemble) สัมประสิทธิ์ของสติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรง (Load Vector) เข้ามาทีละชิ้นส่วนจนเต็มเนื้อที่หน่วยความจำหลัก โดยเก็บค่าสัมประสิทธิ์ของสติฟเนสเมตริกซ์แบบสกายลายน์ แล้วจึงทำการกำจัด (Reduce) ค่าระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ของยั้วที่ไม่ได้ต่อกับชิ้นส่วนที่ยังไม่ได้ทำการรวมโดยใช้วิธีการกำจัดของเกาส์ (Gauss Elimination) ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าการเคลื่อนที่ที่ยั้ว (Nodal Displacement) และค่าความเค้น (Stress) ภายในชิ้นส่วน

โปรแกรมที่เขียนขึ้นในการวิจัยนี้ใช้ภาษาเบสิก (Microsoft QuickBASIC 4.0) โดยสามารถเลือกชิ้นส่วนตัวอย่าง 4 ชนิด ดังนี้คือ

ก. ชิ้นส่วนชนิดความเค้นในระนาบ (Plane Stress Element)
ข. ชิ้นส่วนชนิดความเครียดในระนาบ (Plane Strain Element)
ค. ชิ้นส่วนชนิดแผ่นบางรับแรงดัด (Plate Bending Element)
ง. ชิ้นส่วนชนิดลูกบาศก์ (Brick Element)

สำหรับชิ้นส่วนตัวอย่างชนิด ก. ข. และ ค. เป็นชิ้นส่วนไอโซพาราเมตริกเชิงเส้น (Linear Isoparametric Element, Q4) และชิ้นส่วนไอโซพาราเมตริกกำลังสอง (Quadratic Isoparametric Element, Q8) สำหรับชิ้นส่วนตัวอย่างชนิด ง. เป็นชิ้นส่วนไอโซพาราเมตริกเชิงเส้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกชิ้นส่วนไอโซพาราเมตริกเชิงเส้นชนิดความเค้นในระนาบเป็นชิ้นส่วนที่ใช้แสดงพฤติกรรมของผนังต้านแรงเฉือน จากตัวอย่างที่ได้ทำการศึกษาพบว่า การเพิ่มขนาดหน่วยความจำหลักจะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ลดลง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUPAT UTHAIWAT : A SKYLINE FRONTAL SOLVER MICROCOMPUTER PROGRAM FOR STRUCTURAL FINITE ELEMENT ANALYSIS. THESIS ADVISOR : ASSI.PROF. ROENGDEJA RAJATABHOTHI, Ph.D. 226 PP.

This research presents a skyline frontal solver microcomputer program for structural finite element analysis. A frontal-skyline method is presented which allows for compact skyline storage while using the frontal method. This method shows a more efficient use of the available core storage that can be used to analyse structures that have many nodes. This in turn could lead to saving in execution time.

The frontal process assembles coefficients of element stiffness matrices and load vectors, and simultaneously reduces those degrees of freedom of nodes which are unconnected with nodes of elements not yet assembled by Gauss elimination. The frontal-skyline method makes use of this basic frontal procedure but allows the front to increase in size whenever core storage is available. For these large fronts which can now include many fully assembled equations, the matrix is placed in compact skyline storage. The results obtained are nodal displacements and element stresses.

Four types of linear (Q4) and quadratic (Q8) isoparamentric structural finite elements can be solved by this computer program which is written in Microsoft QucikBASIC 4.0 language:

- Plane Stress Element (Q4, Q8)
- Plane Strain Element (Q4, Q8)
- Plate Bending Element (Q4, Q8)
- Brick Element (Q4)

The linear isoparametric element is selected as elements for shear wall behavior representation. The cases studied in this research show that increasing the size of core storage leads to saving in the execution time.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

สัญญลักษณ์..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความนำ..... 1

1.2 ความเป็นมาของปัญหา..... 2

1.3 ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

1.4 สมมุติฐานในการวิจัย..... 4

1.5 วิธีไฟไนต์เอเลเมนต์..... 4

1.6 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... 9

บทที่ 2 วิธีสกายลายน์ฟรอนทัล (Frontal Skyline Method)

2.1 ความนำ..... 12

2.2 วิธีฟรอนทัล (Frontal Method)..... 12

2.3 วิธีเก็บสติฟเนสเมตริกแบบสกายลายน์ (Skyline Storage).... 14

2.4 วิธีจัดเรียงลำดับชิ้นส่วน (Element Ordering Scheme)..... 20

2.5 วิธีสกายลายน์ฟรอนทัลในการประยุกต์กับไมโครคอมพิวเตอร์..... 21

บทที่ 3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 ความนำ..... 31

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์..... 31

3.3 การทำงานของโปรแกรม..... 32

บทที่ 4 ตัวอย่างการวิเคราะห์

4.1 ความนำ..... 40

4.2 ตัวอย่างที่ 1..... 40

4.3 ตัวอย่างที่ 2..... 57

4.4 ตัวอย่างที่ 3..... 60

4.5 ตัวอย่างที่ 4..... 64

บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

5.1 เกี่ยวกับความถูกต้องของผลลัพธ์..... 71

5.2 เกี่ยวกับเวลา..... 72

5.3 เกี่ยวกับเนื้อที่หน่วยความจำหลักของเครื่องและหน่วยความจำสำรอง ในแผ่นจานแม่เหล็ก..... 72

5.4 สรุป..... 73

เอกสารอ้างอิง..... 74

ภาคผนวก ก.....(รายละเอียดโปรแกรม)..... 76

ภาคผนวก ข.....(การป้อนข้อมูล)..... 213

ประวัติการศึกษา..... 226

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดหน่วยความจำหลัก (จากตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ก)..... 49

ตารางที่ 4.2 ก เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดหน่วยความจำหลัก (จากตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ข)..... 51

ตารางที่ 4.2 ข เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดหน่วยความจำหลัก (จากตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ข เรียงลำดับชิ้นส่วนใหม่)..... 53

ตารางที่ 4.3 แสดงเปรียบเทียบผลของการจัดเรียงลำดับชิ้นส่วน (จากตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ข)..... 55

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานเมื่อโปรแกรมเป็นภาษาเครื่อง (จากตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ข)..... 56

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดหน่วยความจำหลัก (จากตัวอย่างที่ 2 รูปที่ 4.2)..... 59

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างชิ้นส่วนชนิด Q4 และ Q8 (จากตัวอย่างที่ 3)..... 63

ตารางที่ 4.7 ก เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดหน่วยความจำหลัก (จากตัวอย่างที่ 4 รูปที่ 4.4)..... 67

ตารางที่ 4.7 ข เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดหน่วยความจำหลัก (จากตัวอย่างที่ 4 รูปที่ 4.4 เรียงลำดับชิ้นส่วนใหม่)..... 68

ตารางที่ 4.8 แสดงผลจากตัวอย่างที่ 4 รูปที่ 4.5..... 70

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดงรูปร่างชิ้นส่วน.....	10
รูปที่ 2.1	ตัวอย่างวิธีฟรอนทัล.....	13
รูปที่ 2.2 ก	สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง.....	16
รูปที่ 2.2 ข	สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้างเมื่อกำหนดหมายเลขชั้วเพื่อประหยัดหน่วยความจำ.....	17
รูปที่ 2.2 ค	สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้างเมื่อกำหนดหมายเลขชั้วเพื่อความสะดวกในการป้อนข้อมูล.....	18
รูปที่ 2.2 ง	สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้างด้วยการจัดเรียงลำดับค่าระดับชั้นความเสรีใหม่.....	19
รูปที่ 2.3	แผนภูมิแสดงขั้นตอนก่อนทำฟรอนต์.....	28
รูปที่ 2.4	แสดงสติฟเนสเมตริกซ์ในแต่ละเซกเมนต์.....	29
รูปที่ 2.5	แสดงการจัดเรียงใหม่ของสติฟเนสเมตริกซ์จากตัวอย่างรูปที่ 2.4..	30
รูปที่ 3.1	แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรม.....	35
รูปที่ 3.2	แผนภูมิแสดงการทำงานใน SOLUTION MODE.....	36
รูปที่ 3.3 ก	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย STIFF, LFORM, LB.....	37
รูปที่ 3.3 ข	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย SOLVER.....	38
รูปที่ 3.3 ค	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย SOLVER (ต่อ)..	39
รูปที่ 4.1 ก	ผนังต้านแรงเฉือน (ตัวอย่างที่ 1).....	45
รูปที่ 4.1 ข	ผนังต้านแรงเฉือน (ตัวอย่างที่ 1).....	46
รูปที่ 4.1 ค	แสดงหมายเลขเซกเมนต์ของแต่ละชิ้นส่วน (จากตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ข).....	47

รูปที่ 4.1 ง แสดงลำดับหมายเลขชิ้นส่วนและหมายเลขชั้วที่ได้รับการจัดเรียงใหม่ (ตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 4.1 ข)..... 48

รูปที่ 4.2 ผนังต้านแรงเฉือนใช้ชิ้นส่วนชนิด Q4 (ตัวอย่างที่ 2)..... 58

รูปที่ 4.3 ก แผ่นพื้น ชิ้นส่วนชนิด Q4 (ตัวอย่างที่ 3)..... 61

รูปที่ 4.3 ข แผ่นพื้น ชิ้นส่วนชนิด Q8 (ตัวอย่างที่ 3)..... 62

รูปที่ 4.4 เชื่อน ชิ้นส่วนชนิด Q4 (ตัวอย่างที่ 4)..... 66

รูปที่ 4.5 เชื่อน ชิ้นส่วนชนิดลูกบาศก์ (ตัวอย่างที่ 4)..... 69

รูปที่ 7.1 แสดงสภาพการเชื่อมโยงของชิ้นส่วน..... 221

รูปที่ 7.2 แสดงทิศทางสำหรับค่าที่เป็นบวกของน้ำหนักกระทำที่ชั้วและการเคลื่อนที่ที่ชั้ว..... 222

รูปที่ 7.3 แสดงทิศทางสำหรับค่าที่เป็นบวกของน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ..... 223

รูปที่ 7.4 แสดงทิศทางสำหรับค่าที่เป็นบวกของน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ (ต่อ).... 224

รูปที่ 7.5 แสดงตำแหน่งความเค้นที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนชนิดลูกบาศก์..... 225

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

U_e = พลังงานศักย์รวมของชิ้นส่วน

σ = เวกเตอร์ของความเค้น ณ จุดใด ๆ ในชิ้นส่วน

ε = เวกเตอร์ของความเครียด ณ จุดใด ๆ ในชิ้นส่วน

u = การเคลื่อนที่ที่จุดใด ๆ ภายในชิ้นส่วน

p = น้ำหนักของวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

q = แรงกระทำที่ผิว

N = เวกเตอร์ของฟังก์ชั่นสัณฐาน

r = เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่ชิ้ว

B = เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการเคลื่อนที่

D = เมตริกซ์ความยืดหยุ่น

K_e = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วน

F_e = เวกเตอร์ของแรงของชิ้นส่วน

r,s,t = พิกัดของชิ้นส่วน

x,y,z = พิกัดของโครงสร้าง

E = โมดูลัสความยืดหยุ่น

ν = อัตราส่วนพอยซอง