การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสติกโดยอัตโนมัติสำหรับหากลไกวิบัติแบบ
อิสระและแบบรวมของโครงข้อแข็ง

นาย ชัยวุฒิ แสงอร่าม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-073-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018495 1191982726

An Automatic Plastic Analysis for Independent and Combined Mechanisms of Rigid Frames

Mr. Chaivut Seangaram

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-073-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสติกโดยอัตโนมัติสำหรับหากลไกวิบัติแบบอิสระและแบบรวมของโครงข้อแข็ง
โดย	นาย ชัยวุฒิ แสงอร่าม
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชัยวุฒิ แสงอร่าม : การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสติกโดยอัตโนมัติสำหรับหากลไกวิบัติแบบอิสระและแบบรวมของโครงข้อแข็ง (AN AUTOMATIC PLASTIC ANALYSIS FOR INDEPENDENT AND COMBINED MECHANISM OF RIGID FRAMES) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 98 หน้า. ISBN 974-581-073-8

งานวิจัยนี้ได้เสนอหลักการการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสติกโดยอัตโนมัติสำหรับหากลไกวิบัติแบบอิสระและแบบรวมของโครงข้อแข็ง โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งฐานรองรับชนิดหมุนและยึดแน่น การวิเคราะห์ไม่คำนึงถึงผลของแรงอัด และน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดเท่านั้น จากสมการความเข้ากันได้หรือสมการเคลื่อนที่ (Compatibility or Kinematic Equations) ของชิ้นส่วนสำหรับโครงข้อแข็งในระนาบการหากลไกวิบัติทำได้โดยการเปลี่ยนรูปร่างเท่ากับศูนย์ ซึ่งต้องใช้หลักการปลดในชิ้นส่วน และทฤษฎีการเปลี่ยนตำแหน่งสมมติ หาสมการสมดุลย์ของโครงสร้าง จะได้เมตริกซ์กลไกวิบัติแบบอิสระ หรือคือเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ของสมการสมดุลย์ ต่อจากนั้นใช้สมการเชิงเส้นเป็นเกณฑ์ ในการหากลไกวิบัติแบบรวมของโครงสร้าง โดยกำหนดฟังก์ชั่นเป้าหมาย ($\sum_{i=1}^{2m} M_p \theta$) น้อยที่สุด และสอดคล้องกับสมการเงื่อนไขบังคับ คือ สภาวะสมดุลย์และสภาวะการเกิดมุมพลาสติกที่จุดหมุนพลาสติก

จากตัวอย่างโครงข้อแข็งที่ใช้ในการศึกษา พบว่ากำลังประลัยของโครงสร้างที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีค่าสูงกว่า ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก ที่ใช้การวิเคราะห์อันดับที่หนึ่งโดยไม่คำนึงถึงผลของแรงอัด ประมาณ 6.7 เปอร์เซนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C015032 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD : AN AUTOMATIC PLASTIC ANALYSIS/INDEPENDENT AND COMBINED MECHANISMS

CHAIVUT SEANGARAM : AN AUTOMATIC PLASTIC ANALYSIS FOR INDEPENDENT AND COMBINED MECHANTISMS OF RIGID FRAMES. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D., 98 PP. ISBN 974-581-073-8

The principle of an automatic plastic analysis for independent and combined mechanisms of rigid frames is presented. The method takes into consideration both fixed and simple supports. Effects of axial force is neglected and only concentrated loading condition is considered. From the principle of compatibility or kinematic equations of a member in plane of rigid frame, plastic hinge formations and mechanisms can be obtained by considering deformation in each of a member equals to zero. By virtue of the method of release in a member together with the principle of virtual displacement, equilibrium equations of the structural system are determined. Following the process mentioned above, matrixs of independent mechanism or coefficients of equilibrium equation matrix are obtained. Linear programming is then applied to determine combined mechanism, which occured by setting a minimum objective function ($\sum_{i=1}^{2m} M_i\theta$) subjected to equilibrium and plastic rotation condition constrains occured at plastic hinges.

From the examples studies, it can be seen that collapsed load obtained from the proposed method is approximately 6.7% higher than those obtained from the frist order elastic-plastic that neglected effect of axial force.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล และรองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์นี้เป็นอันมาก

ท้ายสุดนี้ สิ่งที่ผู้เขียนจะลืมเสียมิได้ คือพระคุณของ บิดา มารดา ผู้ซึ่งได้ให้การอบรมสั่งสอนและให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาจนถึงบัดนี้ สิ่งเหล่านี้จะจดจำจารึกในจิตใจของผู้เขียนตลอดไป

ชัยวุฒิ แสงอร่าม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

สัญญลักษณ์ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความนำ 1

1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา 2

1.3 วัตถุประสงค์ 3

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 4

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย 4

2. การสร้างกลไกวิบัติแบบอิสระโดยอัตโนมัติ 5

2.1 ข้อสมมุติฐาน 5

2.2 สมการสมดุลย์ทั่วไป 5

2.3 หลักการปลดในชิ้นส่วน 12

2.3.1 รวมกลไกวิบัติโดยแรงในแนวแกน 12

2.3.2 ไม่รวมกลไกวิบัติโดยแรงในแนวแกน 14

2.4 การหาผลเฉลยของสมการ 15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การคำนวณงานภายนอกและงานภายใน 18

2.5.1 งานภายนอก 19

2.5.2 งานภายใน 19

3. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง 21

3.1 ฟังก์ชั่นเป้าหมาย สำหรับการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกที่วิบัติ 21

3.2 สมการเชิงเส้นสำหรับการวิเคราะห์ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่วิบัติ. 23

3.3 การใช้วิธีซิมเพล็กประยุกต์ในการแก้ปัญหาสมการเชิงเส้น..... 25

4. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ 28

4.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ 28

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 34

5.1 สรุปผลการวิจัย 34

5.2 ข้อเสนอแนะ 35

เอกสารอ้างอิง 36

ภาคผนวก 38

ก. วิธีการใช้คอมพิวเตอร์กำหนดรูปร่างการเกิดกลไกวิบัติ..... 38

ข. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม..... 42

ค. แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม..... 45

ง. รายการตารางประกอบ..... 47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
จ.	รายการรูปประกอบ	49
ฉ.	ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 1	71
ช.	ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 2	76
ช.	ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 3	83
ฌ.	ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 4	89
ประวัติผู้เขียน		98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง-ในตัวอย่างที่ 1 47

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง-ในตัวอย่างที่ 2 47

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง-ในตัวอย่างที่ 3 48

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง-ในตัวอย่างที่ 4 48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว..... 50

รูปที่ 2.2 ก. การเปลี่ยนรูปร่าง (อิสระ) ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

ข. การเปลี่ยนตำแหน่งในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว..... 50

รูปที่ 2.3 ระบบโคออร์ดิเนตประจำตัวและระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล..... 51

รูปที่ 2.4 การปลดในชิ้นส่วน 52

รูปที่ 4.1 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 1 53

รูปที่ 4.2 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติแบบอิสระ-
ทั้ง 10 แบบ ในตัวอย่างที่ 1 54

รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 1..... 55

รูปที่ 4.4 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 2 56

รูปที่ 4.5 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติแบบอิสระ-
ทั้ง 13 แบบ ในตัวอย่างที่ 2 57

รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 2..... 59

รูปที่ 4.7 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 3..... 60

รูปที่ 4.8 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติแบบอิสระ-
ทั้ง 6 แบบ ในตัวอย่างที่ 3 61

รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 3..... 62

รูปที่ 4.10 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 4..... 63

รูปที่ 4.11 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติแบบอิสระ-
ทั้ง 20 แบบ ในตัวอย่างที่ 4 64

รูปที่ 4.12 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 4..... 68

รูปที่ ก.1 การเคลื่อนที่ของจุด P 69

รูปที่ ก.2 การหมุนของจุด P รอบจุดเริ่มต้น (Origin) 69

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.3 ภาพแสดงวิธีทรี (Tree method) 70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ที่ใช้

a = เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง

a_1 = ผลคูณของ a และ G ซึ่งดัดแปลงและขยายเพิ่ม

$\bar{a}$ = เมตริกซ์แปลงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งของทุกชิ้นส่วนในระบบโคออร์-ดิเนตประจำตัวกับการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วน

$\bar{a}_p$ = เมตริกซ์แปลงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งเป็นเวกเตอร์การเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วน p ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

$\bar{\bar{a}}$ = เมตริกซ์แปลงจากเวกเตอร์ดีกรีของความอิสระในการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเป็นเวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของทุกชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล

A = เมตริกซ์สัมประสิทธิ์สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธี PLASTIC

C = เมตริกซ์สัมประสิทธิ์ของสมการสมดุลย์

E = เมตริกซ์การเกิดกลไกวิบัติ อธิบายในรูปของดีกรีของความอิสระภายนอกและเป็นสับเซ็ทของ E_1

= โมดูลัสยืดหยุ่น

E_1 = เมตริกซ์ฐานอิสระ หรือเมตริกซ์การเกิดกลไกวิบัติ

EW = การกำหนดค่าคงที่ สำหรับงานภายนอก

G = ผลคูณของ Q และ a

G_1 = เมตริกซ์ดัดแปลงของ G

I = จำนวนของสมการสมดุลย์ หรือ กลไกวิบัติแบบอิสระ

J = จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมดของโครงสร้าง

K = เมตริกซ์เทียบเท่าสำหรับเมตริกซ์เริ่มแรก (a_1)

l_1 = โคซายน์แสดงทิศทางของแกน xx

l_2 = โคซายน์แสดงทิศทางของแกน xy

M = เมตริกซ์แรงดัดภายใน

m = จำนวนชิ้นส่วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M_p = เมตริกซ์สดมภ์ของแรงดัดพลาสติกของกลุ่ม

M_{pi} = แรงดัดพลาสติกของชิ้นส่วนของกลุ่ม i

M_{pj} = แรงดัดพลาสติกของหน้าตัดวิกฤตชิ้นส่วน j

m_1 = โคซายน์แสดงทิศทางของแกน YX

m_2 = โคซายน์แสดงทิศทางของแกน YY

n = ดีกรีของความอิสระในการเคลื่อนที่

θ_j = มุมที่หน้าตัดวิกฤตของชิ้นส่วน j

θ_j^+ = มุมที่หน้าตัดวิกฤตของชิ้นส่วน j ในทิศทางที่เป็นบวก

θ_j^- = มุมที่หน้าตัดวิกฤตของชิ้นส่วน j ในทิศทางที่เป็นลบ

P = เมตริกซ์สดมภ์ของแรงภายนอก ตามดีกรีของความอิสระในการเคลื่อนที่เริ่มต้น

P_e = เมตริกซ์งานภายนอก

P_{ei} = เมตริกซ์งานภายนอก ตามกลไกวิบัติที่ i

P_h = เวกเตอร์ที่อยู่ทางด้านขวาสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีพลาสติก

Q_p = เมตริกซ์แปลงจากเวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นส่วน p ในระบบโคออร์ดิเนต-โกลบัลเป็นระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

r = เวกเตอร์ดีกรีของความอิสระในการเคลื่อนที่

T = เมตริกซ์แปลงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนกับกลุ่ม M_p โดยสมาชิกมีค่าเฉพาะ 0 หรือ 1

t_i = ขนาดของกลไกวิบัติแบบอิสระ i ที่เกี่ยวข้องกับการรวมกลไกวิบัติที่พัง

t_o = เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อทำให้ค่า t_i เป็นบวก

t'_i = ค่าที่เป็นบวกในการกำหนดขนาดของกลไกวิบัติแบบอิสระ i ที่ใช้ในการรวมให้เกิดกลไกวิบัติรวม

V_p = เวกเตอร์การเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วน p ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

$\bar{V}_p$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นส่วน p ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

$\bar{\bar{V}}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของทุกชิ้นส่วน ในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล

X_a = ตัวแปรซึ่งไม่ทราบค่าที่เพิ่มเข้ามาในสมการเงื่อนไขบังคับ

X_c = ตัวแปรของการวิเคราะห์โดยวิธีพลาสติก

X_k = เวกเตอร์การเพิ่มในตัวแปรที่ขาด (Slack Variables)

λ = เมตริกซ์แปลงระบบโคออร์ดิเนต

λ_i = ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก ของกลไกวิบัติแบบอิสระที่ i

λ_c = ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่วิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย