

การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งอีลาสติก-พลาสติกสามมิติ



นาย ทฤษฎี สิงห์ศิลาภรณ์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-671-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GEOMETRICALLY NONLINEAR ANALYSIS OF ELASTIC-PLASTIC SPACE FRAMES



Mr. Tisadee Singsilarak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996


ISBN 974-636-671-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์โครงสร้างทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งอีลาสติก-พลาสติกสามมิติ
โดย นายทฤษฎี สิงห์ศิริรักษ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วีรพงศ์ เสนจันทร์ฉิมไชย)

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ทฤษฎี สิ่งทึลารักษ์ : การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นของโครงข้อแข็งอีลาสติก-พลาสติกสามมิติ (GEOMETRICALLY NONLINEAR ANALYSIS OF ELASTIC-PLASTIC SPACE FRAMES) อ.ที่ปรึกษา : ศ. ดร. วินิต ช่อวิเชียร, 222 หน้า. ISBN 974-636-671-8

งานวิจัยฉบับนี้อธิบายถึงวิธีวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งอีลาสติก-พลาสติกสามมิติ สถิติเฟนสเมตริกซ์ที่ไม่เชิงเส้นจะหาจากทฤษฎีพลังงานต่ำสุด โดยจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสถิติเฟนสเนื่องจากการเคลื่อนที่และผลของการหมุนที่จุดต่อ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่จะใช้ตามทฤษฎีของมุมหมุนระยะโค้ง โดยการเปลี่ยนแปลงของความยาวในแนวแกนเนื่องจากผลของแรงในแนวแกนกับการโค้งตัวจะถูกนำมาพิจารณาด้วย รูปร่างการโค้งตัวจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปสมการพหุนามกำลังสาม เมตริกซ์ใหม่ที่ใช้ในการแปลงสถิติเฟนสจากพิกัดออยเลอร์ไปพิกัดลากรางจ์ได้ถูกเสนอขึ้นมา เมตริกซ์ที่เสนอนั้นจะให้คำตอบที่ใกล้เคียงในโครงสร้างที่มีการเคลื่อนที่น้อยในระนาบหนึ่ง แต่ในอีกระนาบสามารถเกิดการเคลื่อนที่มากได้ เมตริกซ์ที่แปลงแกนยังคงตั้งฉากซึ่งกันและกันโดยจะมีพื้นฐานมาจากเมตริกซ์แปลงแกนในสองมิติ น้าหนักบรรทุกทุกประลัยของการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางวัสดุจะถูกหาโดยวิธีสมดุลย์ สมการการหาจุดหมุนพลาสติกในเหล็กรูปพรรณ WF ได้ถูกแสดงไว้โดยมีพื้นฐานมาจากสมการการหาจุดหมุนของรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสนอโดย Bruinette การวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์จะใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสัน จากผลการวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ที่ได้นำมาแสดงในสามโครงสร้าง ได้ชี้ให้เห็นว่างานวิจัยนี้เกิดความผิดพลาดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงก่อนเกิดการไม่เสถียรภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง.....

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต ทฤษฎี สิ่งทึลารักษ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

CG15382 CIVIL ENGINEERING
: MAJOR
KEY WORD: SPACE FRAMES / NONLINEAR / PLASTIC

TISADEE SINGSILARAK : GEOMETRICALLY NONLINER ANALYSIS OF ELASTIC-PLASTIC SPACE
FRAMES. THESIS ADVISOR : PROF. DR.VINIT CHOVICHEN,Ph.D. 222PP. ISBN 974-636-671-8

The research presents a method for geometically nonlinear analysis of elastic-plastic space frames. A nonlinear stiffness matrix was derived from the theorem of least work , where the effects of large joint translation and rotations are taken into account. The force-deformation relationship of a local member is based on the slope-deflection theory of which the changes in member chord length, caused by axial force strain and flexural bowing are taken into account. The deflection shape was assumed to be a third polynomial. A new matrix transformed Eulerian coordinate to Lagrange coordinate was proposed. The transformation matrix is highly accurate in small deformation in one plane whereas the deformation in another plane can be large deformation. The transformation matrix is orthogonal ,based on two dimensional of analysis. In the nonlinear material analysis ,load factor was solved by using equilibrium method. The solution of plastic hinge of a wide flange was presented ,based on a general formulation of rectangular section proposed by Bruinette. The computation technique used in the research was Newton-Raphson method. Numerical solutions for three structures indicated that there is approximately 10 percent error in the pre-buckling stage.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง
สาขาวิชา 2539
ปีการศึกษา

ลายมือชื่อนิสิต ทฤษฎี สิงห์ทอง
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Dr. X. S. H.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนแนะนำหนังสือและโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยวงศา และ อาจารย์ ดร.ธีรพงศ์ แสนจันทร์มิไชย ซึ่งให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ทฤษฎี สิงห์ศิลารักษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ภูมิหลังงานวิจัย.....	2
งานที่ทำในงานวิจัยฉบับนี้.....	6
วัตถุประสงค์และข้อสมมติฐาน.....	6
ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการศึกษา.....	7
ขอบข่ายในการศึกษา.....	7
2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย.....	8
พื้นฐานของการวิเคราะห์ในทฤษฎีต่าง ๆ.....	8
ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต.....	9
สติฟเนสชั้นส่วนที่เกิดการเคลื่อนที่แล้ว.....	21
เมตริกซ์แปลงแกนจากพิกัดออยเลอร์ไปพิกัดลากรางจ์เสนอโดย Ram.....	28
เมตริกซ์แปลงแกนจากพิกัดลากรางจ์ไปพิกัดโครงสร้าง.....	32
เมตริกซ์แปลงแกนจากพิกัดออยเลอร์ไปพิกัดลากรางจ์เสนอในงานวิจัยนี้.....	44
ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางวัสดุ.....	53
การหาจุดหมุนพลาสติกของหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่รับโมเมนต์สองแกน.....	57
การหาจุดหมุนพลาสติกของหน้าตัดเหล็ก WF ที่รับโมเมนต์สองแกน.....	60
3. การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น.....	67
การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นโดยวิธีทำซ้ำโดยตรง.....	68
การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	69
ขั้นตอนของโปรแกรม.....	70
4. รายงานการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล.....	75
ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงข้อแข็งพอร์ทอล.....	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงข้อแข็งที่จำลองมาจากโดม.....	88
ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงข้อแข็งระนาบ.....	93
5. บทสรุป.....	99
ข้อเสนอแนะ.....	100
เอกสารอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	103
วิธีการใช้โปรแกรม.....	104
ตัวอย่างโปรแกรม.....	108
ผลการวิเคราะห์จากเครื่องพิมพ์.....	200
ประวัติผู้เขียน.....	-222



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1	แสดงขนาดของชิ้นส่วนในตัวอย่างที 1.....	77
4.2	แสดงคุณสมบัติของชิ้นส่วนในตัวอย่างที 1.....	78
4.3	แสดงการเปรียบเทียบผลงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที 1.....	79
4.4	แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งกับสอง ของตัวอย่างที 1.....	80
4.5	แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หี้อลาสติกอันดับที่ 1 และ 2 ในตัวอย่างที 2....	88
4.6	แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งกับสอง ของตัวอย่างที 2.....	92
4.7	แสดงคุณสมบัติของชิ้นส่วนในตัวอย่างที 3.....	94
4.8	แสดงการเปรียบเทียบผลงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที 3.....	91
4.9	แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งกับสอง ของตัวอย่างที 3.....	91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่

หน้า

2.1	กำหนดทิศทางของแรงและการเคลื่อนที่.....	10
2.2	การยืดหดในแนวแกน.....	10
2.3	การยืดหดในแนวแกนของชิ้นส่วนย่อย dx	13
2.4	การยืดหดในแนวแกนทั้งหมดของชิ้นส่วน.....	16
2.5	มุมเนื่องจากการเคลื่อนที่ของจุดต่อในทิศทางแกน Y.....	23
2.6	มุมเนื่องจากการเคลื่อนที่ของจุดต่อในทิศทางแกน Y ในระนาบ XZ.....	23
2.7	มุมเนื่องจากการเคลื่อนที่ของจุดต่อในทิศทางแกน Z.....	25
2.8	มุมเนื่องจากการเคลื่อนที่ของจุดต่อในทิศทางแกน Z ในระนาบ XY.....	26
2.9	การแปลงแกนพิกัดลากรางจ์ไปพิกัดโครงสร้าง.....	29
2.10	การหมุนของแกนชิ้นส่วนรอบแกน Y.....	38
2.11	การหมุนของแกนชิ้นส่วนรอบแกน Z.....	39
2.12	การหมุนของแกนชิ้นส่วนรอบแกน Z ในระนาบ XY.....	40
2.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและแรงเฉือนในแกน X และแกน Y.....	42
2.14	แสดงการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลย์ (Equilibrium).....	53
2.15	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 2.12.....	54
2.16	การสมมติเส้นแกนสะเทินของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	55
2.17	โมเมนต์พลาสติกในทิศทางเดียว.....	55
2.18	อิทธิพลของโมเมนต์โมแกนรองต่อโมเมนต์พลาสติกในแกนหลัก.....	55
2.19	อิทธิพลของแรงในแนวแกนรองต่อโมเมนต์พลาสติกในแกนหลัก.....	56
2.20	การหาค่าโมเมนต์พลาสติกของเหล็ก WF ที่รับโมเมนต์โมแกนโทเป็นหลัก.....	57
2.21	การหาค่าโมเมนต์พลาสติกของเหล็ก WF ที่รับโมเมนต์โมแกนเอกเป็นหลัก.....	58
2.22	ชนิดของการเกิดจุดหมุนในชิ้นส่วน.....	63
3.1	วิธีทำซ้ำโดยตรง.....	68
3.2	วิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	69
3.3	แผนภูมิการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต.....	72
3.4	แผนภูมิการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางวัสดุ.....	73
3.5	แผนภูมิการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตและทางวัสดุ.....	74
4.1	รูปตัวอย่างที่ 1 โครงข้อแข็งพอร์ทอล.....	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ของงานวิจัยฉบับนี้ กับงานวิจัยของ Ram.....	80
4.3	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับผลการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ของจุดที่ 2.....	81
4.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับผลการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ของจุดที่ 1.....	82
4.5	กราฟแสดงโมเมนต์ของชิ้นส่วนที่ 2 ของงานวิจัยนี้ กับของ Ram	83
4.6	ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติก ของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ของงานวิจัยฉบับนี้ กับงานวิจัยของ Ram.....	84
4.7	รูปแสดงการเปรียบเทียบลำดับการเกิดจุดหมุนของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งกับอันดับที่ 2 ของตัวอย่างที่ 1.....	84
4.8	รูปแสดงเลขชิ้นส่วนและเลขจุดต่อของตัวอย่างที่ 2.....	86
4.9	รูปตัวอย่างที่ 2 โครงข้อแข็งที่จำลองมาจากโดม.....	87
4.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยของ Kassimali.....	89
4.11	กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	90
4.12	รูปแสดงการเปรียบเทียบลำดับการเกิดจุดหมุนของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งกับอันดับที่ 2 ของตัวอย่างที่ 2.....	91
4.13	รูปตัวอย่างที่ 3 โครงข้อแข็งพอร์ทอลระนาบ.....	94
4.14	รูปแสดงการเปรียบเทียบลำดับการเกิดจุดหมุนของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง ของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ ผ่านมาตัวอย่างที่ 3.....	96
4.15	รูปแสดงการเปรียบเทียบลำดับการเกิดจุดหมุนของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง ของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ ผ่านมาตัวอย่างที่ 3.....	96

สัญลักษณ์

A	พื้นที่หน้าตัด
{A}	เมตริกซ์การแปลงพิกัดจากออยเลอร์ไปพิกัดลากรางจ์
{B}	สติเฟเนสมเมตริกซ์ผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต
{D}	เมตริกซ์การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในพิกัดโครงสร้าง
{ \bar{D} }	เมตริกซ์การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในพิกัดลากรางจ์
{ D^* }	เมตริกซ์การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในพิกัดออยเลอร์
{dD}	การเคลื่อนที่ในพิกัดโครงสร้าง
{d \bar{D} }	การเคลื่อนที่ในพิกัดลากรางจ์
{d D^* }	การเคลื่อนที่ในพิกัดออยเลอร์
[K_i]	สติเฟเนสจากเส้นสัมผัสของชิ้นส่วนในระบบพิกัดของโครงสร้าง
[K^*]	สติเฟเนสมเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในพิกัดออยเลอร์
{dS}	น้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นในระบบพิกัดของโครงสร้าง
{d \bar{S} }	น้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นในระบบพิกัดของลากรางจ์
{d S^* }	น้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นในระบบพิกัดของออยเลอร์
\bar{i}_1	แกน X ในพิกัดลากรางจ์ที่เคลื่อนที่แล้ว
\bar{i}_2	แกน Y ในพิกัดลากรางจ์ที่เคลื่อนที่แล้ว
\bar{i}_3	แกน Z ในพิกัดลากรางจ์ที่เคลื่อนที่แล้ว
{S}	แรงกระทำในพิกัดโครงสร้าง
{ \bar{S} }	แรงกระทำในพิกัดลากรางจ์
{ S^* }	แรงกระทำในพิกัดออยเลอร์
[T]	เมตริกซ์แปลงแกนจากพิกัดลากรางจ์ไปพิกัดโครงสร้าง
λ_z	การเปลี่ยนแปลงระยะในแนวแกนเนื่องจากโมเมนต์ทิศทาง Z
λ_y	การเปลี่ยนแปลงระยะในแนวแกนเนื่องจากโมเมนต์ทิศทาง Y
λ_x	การเปลี่ยนแปลงระยะในแนวแกนเนื่องจากแรงในแนวแกน
λ_i	การเปลี่ยนแปลงระยะในแนวแกนทั้งหมด