การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธี อีลาสติก-พลาสติก โดยพิจารณาผลของ P-Δ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของชิ้นส่วนข้อต่อ

นายทรงพล วงศ์สกุลวิวัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-194-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท. 63
ทรงพล ว.

I 16892562

Elastic-Plastic Analysis of Steel Rigid Frames Considering The P-Δ and Joint Panel Shear Deformation Effects

Mr.Songpol Wongskulwiwat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-633-194-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยวิธี อีลาสติก-พลาสติกโดยพิจารณาผลของ P-Δ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของ ชิ้นส่วนข้อต่อ
โดย	นายทรงพล วงศ์สกุลวิวัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

.....กรรมการ

(ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ทรงพล วงศ์สกุลวิวัฒน์ : การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกโดยพิจารณาผลของ P-Δ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของชิ้นส่วนข้อต่อ
(ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID FRAMES CONSIDERING THE P-Δ AND JOINT PANEL SHEAR DEFORMATION EFFECTS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี, 97 หน้า. ISBN 974-633-194-9

งานวิจัยนี้ได้เสนอหลักการวิเคราะห์หาผลการตอบสนองของโครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกของโครงเหล็กข้อแข็ง โดยพิจารณาผลของ P-Δ การย้อนกลับของแรงดัด ณ จุดหมุนพลาสติก และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของชิ้นส่วนข้อต่อร่วมกับการวิเคราะห์อับดับแรกซึ่งพิจารณาผลกระทบของแรงในแนวแกนของชิ้นส่วนที่มีต่อกำลังของแรงดัดพลาสติกและเสถียรภาพในระนาบส่วนวิธีการที่นำเสนอเทียบได้ว่าเป็นการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับสองอย่างง่าย ซึ่งไม่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วน

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วยหลักการที่เสนอ สามารถนำไปใช้ในการคำนวนหาความหนาที่เหมาะสมของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างหรือจะพิจารณาเสริมความหนาของชิ้นส่วนข้อต่อเฉพาะบางจุดเท่าที่จำเป็นโดยที่ทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างมีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกอันดับสองทั้งกำลังประลัย การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบ และ จำนวนจุดหมุนพลาสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C615318 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: ELASTIC-PLASTIC/STEEL RIGID FRAMES/P-Δ/JOINT PANEL/DEFORMATION EFFECTS.

SONGPOL WONGSKULWIWAT: ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID FRAMES CONSIDERING THE P-Δ AND JOINT PANEL SHEAR DEFORMATION EFFECTS. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI,Ph.D.97 pp. ISBN 974-633-194-9

This research presents a principle of the first-order elastic-plastic response of plane steel frames including P-Δ effect, moment reversals at plastic hinges and joint panel shear deformation effect. Reduction of plastic moment capacity due to axial force and in-plane stability effects are considered. The proposed algorithm is equivalent to the simplified second-order elastic-plastic analysis in which the reduction in flexural stiffness of the members due to axial force is neglected.

It could be concluded that the proposed analysis can be used to compute the suitable thickness of each joint panel of a plane steel frame or to compute the increase in thickness of joint panel at the required positions. The ultimate load, horizontal drift and number of plastic hinges will still be agreeable to those obtained from a second-order elastic-plastic analysis.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล และ ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ คุณสัญญา เพชรเนียม ที่ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมภาษาซี

ทรงพล วงศ์สกุลวิวัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

สัญลักษณ์.....ฑ

บทที่ 1. บทนำ.....1

1.1 ความนำ.....1

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....2

1.3 วัตถุประสงค์.....5

1.4 ขอบข่ายงานวิจัย.....6

บทที่ 2. วิธีวิเคราะห์.....7

2.1 ความนำ.....7

2.2 สมมติฐาน.....7

2.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง.....8

2.4 การพิจารณาผลรวมของ P-Δ.....19

2.5 เงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก.....21

2.6 การพิจารณารวมผลของการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติก.....22

2.7 หลักการและวิธีการทางอีลาสติก-พลาสติก.....23

2.8 การคำนวณค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก.....23

2.9 การคำนวณค่าผลลัพธ์สะสม.....25

2.10 การเปลี่ยนแปลงของสติฟเนสของชิ้นส่วนย่อยเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก.....26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.11 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง.....30

บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ.....31

3.1 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 1.....32

3.2 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 2.....33

3.3 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 3.....34

3.4 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 4.....36

บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....38

4.1 สรุปผล.....38

4.2 ข้อเสนอแนะ.....39

รายการอ้างอิง.....40

ภาคผนวก.....42

ก. รายการตารางประกอบ.....42

ข. รายการรูปประกอบ.....60

ค. รายการแสดงผลการวิเคราะห์จากตัวอย่างที่ 1.....86

ประวัติผู้เขียน.....97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชิ้นส่วนคานและเสา....43
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของชิ้นส่วนข้อต่อในตัวอย่างที่ 1....43
ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์จากตัวอย่างที่ 1....44
ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของชิ้นส่วนคาน ในตัวอย่างที่ 2....45
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของชิ้นส่วนเสา ในตัวอย่างที่ 2....45
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของชิ้นส่วนข้อต่อ ในตัวอย่างที่ 2....46
ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์จากตัวอย่างที่ 2....47
ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของชิ้นส่วนคาน ในตัวอย่างที่ 3....50
ตารางที่ 3.9 คุณสมบัติของชิ้นส่วนเสา ในตัวอย่างที่ 3....51
ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของชิ้นส่วนข้อต่อ ในตัวอย่างที่ 3....52
ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์จากตัวอย่างที่ 3....53
ตารางที่ 3.12 ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้าง เมื่อมีการเสริมความหนาของชิ้นส่วนข้อต่อ
เท่าที่จำเป็น....58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กราฟสมมติฐานแบบจำลองพฤติกรรมของโครงสร้าง..... 62

รูปที่ 2.1 แสดงถึงการเปลี่ยนตำแหน่งและแรงภายในที่ปลายชิ้นส่วนและชิ้นส่วนข้อต่อของโครงข้อแข็ง.....62

ก. ชิ้นส่วนข้อต่อเมื่อยังไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง.....62

ข. การเปลี่ยนตำแหน่ง (u^p, v^p, θ^p)และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน (γ ของชิ้นส่วนข้อต่อ.....62

ค. การเปลี่ยนตำแหน่งและแรงภายในของชิ้นส่วนคาน.....62

ง. การเปลี่ยนตำแหน่งและแรงภายในของชิ้นส่วนเสา.....62

จ. ทิศทางของการเปลี่ยนตำแหน่ง และแรงของชิ้นส่วนข้อต่อที่เป็นบวก.....62

รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง σ&ε และ M_r^p & γ.....63

ก. กราฟแสดงคุณสมบัติของวัสดุระหว่างความเค้น (Stress) σ และความเครียด (Strain) ε.....63

ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัด M_r^p และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน γ ของชิ้นส่วนข้อต่อ.....63

รูปที่ 2.3 แสดงการพิจารณา แรงเฉือนเทียบเท่า.....64

รูปที่ 2.4 กราฟเงื่อนไขของการเกิดจุดหมุนพลาสติก สำหรับเหล็กหน้าตัด W.....64

รูปที่ 2.5 แสดงการพิจารณา แรงดัดย้อนกลับ ณ จุดหมุนพลาสติก.....65

รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนคานที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านซ้ายมือ.....65

รูปที่ 2.7 ชิ้นส่วนคานที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านขวามือ.....66

รูปที่ 2.8 ชิ้นส่วนคานที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดภายในชิ้นส่วน.....67

รูปที่ 2.9 ชิ้นส่วนคานที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านซ้ายมือและภายในชิ้นส่วน.....67

รูปที่ 2.10 ชิ้นส่วนคานที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านขวามือและภายในชิ้นส่วน.....67

รูปที่ 2.11 ชิ้นส่วนคานที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านซ้ายมือและขวามือ.....68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 2.12 ชิ้นส่วนเสาที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านล่าง....68
รูปที่ 2.13 ชิ้นส่วนเสาที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านบน....69
รูปที่ 2.14 ชิ้นส่วนเสาที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดภายในชิ้นส่วน....69
รูปที่ 2.15 ชิ้นส่วนเสาที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านล่าง
และภายในชิ้นส่วน....70
รูปที่ 2.16 ชิ้นส่วนเสาที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านบน
และภายในชิ้นส่วน....70
รูปที่ 2.17 ชิ้นส่วนเสาที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ปลายด้านบน
และด้านล่าง....71
รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1....72
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมกับ
ความหนาของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1....73
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบสูงสุดกับ
ความหนาของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1....74
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกในตัวอย่างที่1....75
รูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2....76
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมกับ
ความหนาของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2....77
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบสูงสุดกับ
ความหนาของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2....78
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกในตัวอย่างที่2....79
รูปที่ 3.9 ลักษณะโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3....80
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่าของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมกับ
ความหนาของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3....81
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบสูงสุดกับ
ความหนาของทุกชิ้นส่วนข้อต่อของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3....82
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกในตัวอย่างที่3....83
รูปที่ 3.13 ลักษณะโครงสร้างในตัวอย่างที่ 4....84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 3.14 ตำแหน่งของการเกิดจุดหมุนพลาสติกเมื่อมีการเสริมความหนา
ของชิ้นส่วนข้อต่อ.....85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

$[a^{b1}]$ = เมตริกซ์แปลงตามความสอดคล้องทางเรขาคณิต ของปลายด้านขวาของชิ้นส่วนข้อต่อ หรือปลายด้านซ้ายของคาน มีมิติ 3×4

$[a^{b2}]$ = เมตริกซ์แปลงตามความสอดคล้องทางเรขาคณิต ของปลายด้านซ้ายของชิ้นส่วนข้อต่อ หรือปลายด้านขวาของคาน มีมิติ 3×4

$[a^{c1}]$ = เมตริกซ์แปลงตามความสอดคล้องทางเรขาคณิต ของปลายด้านบนของชิ้นส่วนข้อต่อ หรือปลายด้านล่างของเสา มีมิติ 3×4

$[a^{c2}]$ = เมตริกซ์แปลงตามความสอดคล้องทางเรขาคณิต ของปลายด้านล่างของชิ้นส่วนข้อต่อ หรือปลายด้านบนของเสา มีมิติ 3×4

$[a^{b1}]^T$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[a^{b1}]$ มีมิติ 4×3

$[a^{b2}]^T$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[a^{b2}]$ มีมิติ 4×3

$[a^{c1}]^T$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[a^{c1}]$ มีมิติ 4×3

$[a^{c2}]^T$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[a^{c2}]$ มีมิติ 4×3

$[A^b]$ = เมตริกซ์แปลงของคาน ตามความสอดคล้องทางเรขาคณิต มีมิติ 6×8

$[A^c]$ = เมตริกซ์แปลงของเสา ตามความสอดคล้องทางเรขาคณิต มีมิติ 6×8

$[A^b]^T$ = ทราสโพสของเมตริกซ์ $[A^b]$ มีมิติ 8×8

$[A^c]^T$ = ทราสโพสของเมตริกซ์ $[A^c]$ มีมิติ 8×6

A = พื้นที่ หน้าตัดรวมของชิ้นส่วน

A_r = พื้นที่ลดลงใช้สำหรับคำนวณความเครียดเฉือน

b_{cf} = ความกว้างของเหล็กปีกเสา

D_i^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j

D_{ai}^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j

D_{ai}^{j-1} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j-1

E = โมดูลัสยืดหยุ่น

$\{F\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ และแรงยึดแน่นที่ปลายชิ้นส่วน

$\{F^*\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง เนื่องจาก P-Δ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\{F^b\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคาน

$\{F^c\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสา

$\{F^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ

$\{F^{b1}\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานด้านซ้าย

$\{F^{b2}\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานด้านขวา

$\{F^{c1}\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาด้านล่าง

$\{F^{c2}\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาด้านบน

$\{F_b^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของชิ้นส่วนคาน

$\{F_c^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของชิ้นส่วนเสา

$\{F_{b1}^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของชิ้นส่วนคานด้านขวามือ

$\{F_{b2}^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของชิ้นส่วนคานด้านซ้ายมือ

$\{F_{c1}^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของชิ้นส่วนเสาด้านบน

$\{F_{c2}^p\}$ = เวกเตอร์ของแรงที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของชิ้นส่วนเสาด้านล่าง

F_u^{b1} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานตามแนวราบด้านซ้าย

F_u^{b2} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานตามแนวราบด้านขวา

F_u^{c1} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาตามแนวราบด้านล่าง

F_u^{c2} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาตามแนวราบด้านบน

F_v^{b1} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานตามแนวดิ่งด้านซ้าย

F_v^{b2} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานตามแนวดิ่งด้านขวา

F_v^{c1} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาตามแนวดิ่งด้านล่าง

F_v^{c2} = แรงที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาตามแนวดิ่งด้านบน

F_u^p = แรงที่กระทำกลางชิ้นส่วนข้อต่อตามแนวราบ

F_v^p = แรงที่กระทำกลางชิ้นส่วนข้อต่อตามแนวดิ่ง

G = โมดูลัสเฉือน

h_1 = ความสูงของชิ้นส่วนข้อต่อที่ปลายด้านล่างของเสา

h_2 = ความสูงของชิ้นส่วนข้อต่อที่ปลายด้านบนของเสา

H = ความยาวของชิ้นส่วน

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$[k^b]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของคานโดยคิดถึงขอบเสา มีมิติ 6×6

$[k^c]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของเสาโดยคิดถึงขอบคาน มีมิติ 6×6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$[k_e^b]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของคานโดยคิดถึงกลางเสา มีมิติ 8X8

$[k_e^c]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของเสาโดยคิดถึงกลางคาน มีมิติ 8X8

$[K]$ = สติฟเนสเมตริกซ์รวมของคาน,เสา และชิ้นส่วนข้อต่อ

$[K^b]$ = สติฟเนสเมตริกซ์รวมของคาน

$[K^c]$ = สติฟเนสเมตริกซ์รวมของเสา

$[K^p]$ = สติฟเนสเมตริกซ์รวมของชิ้นส่วนข้อต่อ

$[K_g]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ทางเรขาคณิตของโครงสร้าง

$[K_s]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ทางเรขาคณิตของโครงสร้าง เมื่อพิจารณารวมผล P-Δ

k_g = สติฟเนสเมตริกซ์ทางเรขาคณิตของชิ้นส่วน

k_e^p = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนข้อต่อในช่วงอีลาสติก

k_j^p = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนข้อต่อที่ j

k_c^p = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนข้อต่อในช่วงอีลาสติก-ประลัย

L = ความยาวของชิ้นส่วนจากขอบคานด้านซ้ายถึงด้านขวา หรือขอบเสาด้านล่างถึงด้านบน

M = แรงดัดของชิ้นส่วน

M^* = แรงดัดพลาสติก เมื่อรวมผลจาก P-Δ

M_p = แรงดัดพลาสติกของชิ้นส่วน

M_θ^{b1} = แรงดัดที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานด้านซ้าย

M_θ^{b2} = แรงดัดที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของคานด้านขวา

M_θ^{c1} = แรงดัดที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาด้านล่าง

M_θ^{c2} = แรงดัดที่กระทำที่ปลายชิ้นส่วนของเสาด้านบน

M_θ^p = แรงดัดที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ

M_γ^p = แรงดัดที่กระทำที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน

M_{cik}^j = แรงดัดสะสมที่ปลาย i ของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j

P = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน

P_{ck}^j = แรงในแนวแกนสะสม ของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j

P_y = แรงในแนวแกนที่ทำให้ชิ้นส่วนคลาก

$\{r_b^p\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อของคาน

$\{r_c^p\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อของเสา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

t_c = ความหนาของเหล็กแผ่นตั้งของเสา

t_{cf} = ความหนาของเหล็กปีกเสา

u^{b1} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบของคานด้านซ้าย

u^{b2} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบของคานด้านขวา

u^{c1} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบของเสาด้านล่าง

u^{c2} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบของเสาด้านบน

u^{p} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบที่กลาง ชิ้นส่วนข้อต่อ

$\{v\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง

$\{v^b\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของคาน

$\{v^c\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของเสา

$\{v^p\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นส่วนข้อต่อ

$\{v^{b1}\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายชิ้นส่วนของคานด้านซ้าย

$\{v^{b2}\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายชิ้นส่วนของคานด้านขวา

$\{v^{c1}\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายชิ้นส่วนของเสาด้านล่าง

$\{v^{c2}\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายชิ้นส่วนของเสาด้านบน

v^{b1} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวดิ่งของคานด้านซ้าย

v^{b2} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวดิ่งของคานด้านขวา

v^{c1} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวดิ่งของเสาด้านล่าง

v^{c2} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวดิ่งของเสาด้านบน

v^{p} = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวดิ่งที่กลาง ชิ้นส่วนข้อต่อ

V = แรงเฉือนของชิ้นส่วน

V' = แรงเฉือนเทียบเท่า ส่วนที่เพิ่มเนื่องจาก P-Δ

w_1 = ความกว้างของชิ้นส่วนข้อต่อที่ปลายด้านซ้ายของคาน

w_2 = ความกว้างของชิ้นส่วนข้อต่อที่ปลายด้านขวาของคาน

W = ชิ้นส่วนที่มีรูปตัดปีกกว้าง

x_1 = ระยะจากปลายซ้ายของปลายคานถึงจุดหมุนพลาสติก หรือระยะจากปลายล่างของเสาถึงจุดหมุนพลาสติก

x_2 = ระยะจากจุดหมุนพลาสติกถึงปลายขวาของคาน หรือระยะจากจุดหมุนพลาสติกถึงปลายบนของเสา

Z = พลาสติกโมดูลัสของหน้าตัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

γ = การเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน ของชิ้นส่วนข้อต่อ

γ_y = การเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน ของชิ้นส่วนข้อต่อ ณ จุดคลาก

β = ตัวประกอบรูปร่าง

θ^{b1} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของคานด้านซ้าย

θ^{b2} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของคานด้านขวา

θ^{c1} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของเสาด้านล่าง

θ^{c2} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของเสาด้านบน

θ^{p} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ

θ^{p}_{b1} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของคานด้านซ้าย

θ^{p}_{b2} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของคานด้านขวา

θ^{p}_{c1} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของเสาด้านล่าง

θ^{p}_{c2} = การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมที่กลางชิ้นส่วนข้อต่อ ของเสาด้านบน

δ^{*} = ระยะเยื้องศูนย์ในแนวดิ่ง ของแรงในแนวแกน

$\Delta\lambda_{n+1}$ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นจากเดิม ที่มีจุดหมุนพลาสติก i จุด เป็น i+1 จุดโดยอาศัยการประมาณจากพหุนามอันดับที่ n

λ_i = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก i จุด

$\lambda_{i+1,n+1}$ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก i+1 จุดโดยอาศัยการประมาณจากพหุนามอันดับที่ n

λ_c^j = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม ในวงรอบการทำงานที่ j

λ_c^{j-1} = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม ในวงรอบการทำงานที่ j-1

υ = อัตราส่วนปัวซอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย