การวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยวิธี อิลาสติก-พลาสติก โดยคำนึงถึงผล จาก P-Δ

นายสัญญา เพชรเนียม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-071-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018515
i17159989

An Elastic-Plastic Analysis of Rigid Frames Considering P-Δ effects

Mr.Sunya Pethnium

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 974-581-071-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยวิธี อิลาสติก-พลาสติก โดยคำนึงถึงผล จาก P-Δ
โดย	นายสัญญา เพชรเนียม
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)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญา เพชรเนียม : การวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยคำนึงถึงผล จาก P-Δ (AN ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF RIGID FRAMES CONSIDERING P-Δ EFFECTS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี,65 หน้า. ISBN 974-581-071-1

งานวิจัยนี้ ได้เสนอหลักการวิเคราะห์หาผลการตอบสนองของโครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติกของโครงข้อแข็ง โดยพิจารณารวมผลของ P-Δ เข้ากับการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับแรก ซึ่งพิจารณาผลกระทบของแรงในแนวแกนของชิ้นส่วนที่มีต่อกำลังพลาสติกโมเมนต์และเสถียรภาพในระนาบ ส่วนวิธีการที่นำเสนอเทียบได้ว่าเป็นการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับสองอย่างง่าย ซึ่งไม่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วน

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยหลักการที่เสนอสามารถให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับสอง โดยค่ากำลังประลัยของโครงข้อแข็งในงานวิจัยครั้งนี้ จะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 1-12 เปอร์เซนต์ และสามารถหลีกเลี่ยงการคำนวณแบบทำซ้ำ ซึ่งมีผลทำให้ประหยัดเวลาในการคำนวณเมื่อเทียบกับ การวิเคราะห์อันดับที่สองโดยไม่สูญเสียความละเอียดถูกต้องไปมาก

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สัญญา เพชรเนียม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C115386 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD : ELASTIC-PLASTIC/RIGID FRAMES/P-Δ
SUNYA PETHNIUM : AN ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF RIGID FRAMES CONSIDERING P-Δ EFFECTS. THESIS ADVISOR: PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D., 65 PP. ISBN 974-581-071-1.

This research presents the principle of the first-order elastic-plastic response of plane frames including the P-Δ effects. The reduction in the plastic moment capacity due to axial forces and in-plane stability effects are considered. The proposed algorithm cosnsists of a simplified second-order elastic-plastic analysis in which the reduction in flexural stiffness of the members due to axial forces is neglected.

It can be concluded that the proposed principle is equivalent to the second-order elastic-plastic analysis problems. The predicted maximum load factors are about 1-12% below from those obtained by the second-order elastic-plastic analysis. A large number of repetitive calculations are avoided, resulting in an enormous saving of computer time with respect to those of the second-order elastic-plastic analyses without substantial discrepancies.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สัญญา เพชรนี่ยม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และ ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สัญญา เพชรเนียม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

สัญลักษณ์ ..... ฐ

บทที่ 1. บทนำ 1

1.1 ความนำ 1

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 2

1.3 งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป 5

1.4 วัตถุประสงค์ 5

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 5

1.6 ขอบข่ายงานวิจัย 6

บทที่ 2. ทฤษฎีการวิเคราะห์ 7

2.1 ความนำ 7

2.2 สมมุติฐาน 7

2.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง 8

2.4 การพิจารณารวมผลของ P-Δ 13

2.4.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีทำซ้ำ 14

2.4.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีคุณสมบัติของชิ้นส่วนมีค่าเป็นลบ 15

หน้า

2.5 หลักการและวิธีการทางอิลาสติก-พลาสติก 17
2.6 เงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก 18
2.7 การคำนวณค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก 19
2.8 การคำนวณค่าผลลัพธ์สะสม 21
2.9 การเปลี่ยนแปลงของสติฟเนสของชิ้นส่วนย่อย 22
2.9.1 สติฟเนสเมตริกซ์ ของชิ้นส่วน ที่มีจุดข้อต่อทางซ้ายมือ เป็นจุดหมุนพลาสติก 22
2.9.2 สติฟเนสเมตริกซ์ ของชิ้นส่วน ที่มีจุดข้อต่อทางขวามือ เป็นจุดหมุนพลาสติก 23
2.9.3 สติฟเนสเมตริกซ์ ของชิ้นส่วน ที่มีจุดข้อต่อ ทางขวามือ และ ทางซ้ายมือ เป็นจุดหมุนพลาสติก 23
2.10 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง 23

บทที่ 3. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ 25
3.1 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 1 25
3.2 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 2 27

บทที่ 4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 30
4.1 สรุปผล 30
4.2 ข้อเสนอแนะ 32

รายการอ้างอิง 33

หน้า

ภาคผนวก 35

ก. รายการตารางประกอบ 35

ข. รายการรูปประกอบ 41

ค. แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 54

ง. ระบบของแรงยึดแน่น 56

จ. ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1 61

ฉ. ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 2 63

ประวัติผู้เขียน 65

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1 36

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1 ... 37

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของชิ้นส่วนเสาของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2 38

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของชิ้นส่วนคานของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2 39

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2 ... 40

สารบัญรูป

			หน้า
รูปที่	1.1	กราฟสมมุติฐานแบบจำลองพฤติกรรมของโครงสร้าง	42
รูปที่	2.1	ระบบพิกัดเฉพาะที่และระบบพิกัดในวงกว้าง	43
รูปที่	2.2	การเปลี่ยนตำแหน่งและแรงภายในของชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง	
		ก. ในระบบพิกัดเฉพาะที่	43
		ข. ในระบบพิกัดในวงกว้าง	43
รูปที่	2.3	แสดงการพิจารณา แรงเฉือนเทียบเท่า	44
รูปที่	2.4	แสดงแรงทางข้างเทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น	44
รูปที่	2.5	แสดงแบบจำลองโครงสร้างเสาเสมือน	45
รูปที่	2.6	ชิ้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อทางซ้ายมือ	45
รูปที่	2.7	ชิ้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อทางขวามือ	46
รูปที่	2.8	ชิ้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกที่จุดข้อต่อทั้งทางซ้ายมือและทางขวามือ	46
รูปที่	2.9	กราฟเงื่อนไขของการเกิดจุดหมุนพลาสติก สำหรับเหล็กหน้าตัด WF	47
รูปที่	2.10	กราฟเงื่อนไขของการเกิดจุดหมุนพลาสติก สำหรับเหล็กหน้าตัด	
		สี่เหลี่ยมผืนผ้า	47
รูปที่	3.1	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1	48
รูปที่	3.2	กราฟการโก่งตัวสูงสุดต่อความสูงกับค่าของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก	
		สะสม ของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1	49
รูปที่	3.3	ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก ของโครงสร้าง	
		ในตัวอย่างที่ 1	50
รูปที่	3.4	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	51
รูปที่	3.5	กราฟการโก่งตัวสูงสุดต่อความสูงกับค่าของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก	
		สะสม ของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	52

หน้า

รูปที่ 3.6 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก ของโครงสร้าง
ในตัวอย่างที่ 2 53

สัญลักษณ์

$[a]$ = เมตริกซ์หมุนแกน

$[a]^t$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[a]$

$[A]$ = เมตริกซ์ที่แปลงระบบที่สัมพันธ์จากระบบพิกัดในวงกว้างไปเป็นระบบพิกัดเฉพาะที่

$[A]^t$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[A]$

A = พื้นที่หน้าตัวรวมของชิ้นส่วน

A_r = พื้นที่ลดลงใช้สำหรับคำนวณความเครียดเฉือน

D^j_i = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j

D^j_{ci} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j

D^{j-1}_{ci} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j-1

E = โมดูลัสยืดหยุ่น

$\{F_o\}$ = เวกเตอร์แรงยึดแน่นปลายของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่

F_y = กำลังคลากของวัสดุ

G = โมดูลัสเฉือน

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$[k]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดในวงกว้าง

$[k_e]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดเฉพาะที่

$[K]$ = สติฟเนสเมตริกซ์อันดับแรกของโครงสร้าง

$[K_s]$ = สติฟเนสของโครงสร้าง เมื่อพิจารณารวมผล P-Δ

$k_{f,i}$ = สติฟเนสทางการเฉือนของเสาเสมือนในชั้นที่ i

k_g = สติฟเนสทางเรขาคณิตของชิ้นส่วน

L = ความยาวของชิ้นส่วนย่อย

M = แรงดัดของชิ้นส่วน

M^j_{cik} = แรงดัดสะสมที่ปลาย i ของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j

M_p = แรงดัดพลาสติกของชิ้นส่วน

M^* = แรงดัดของชิ้นส่วนเมื่อรวมผลจาก P-Δ

P = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน

ΣP_i = ผลรวมของแรงในแนวแกนของเสาทุกต้นในชั้น i

P^j_{ck} = แรงในแนวแกนสะสมของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j

P_y = แรงในแนวแกนเพียงอย่างเดียวที่ทำให้ชิ้นส่วนคลาก

$\{ r \}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดในวงกว้าง

$\{ R \}$ = เวกเตอร์แรงกระทำในระบบพิกัดวงกว้าง ซึ่งประกอบด้วยแรงกระทำที่ข้อต่อ และแรงยึดแน่นปลายของชิ้นส่วน

$\{ S \}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่

$\{ \bar{S} \}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดวงกว้าง

$\{ v \}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่

V = แรงเฉือนของชิ้นส่วน

V' = แรงเฉือนเทียบเท่า ส่วนที่เพิ่มเนื่องจาก P-Δ

Z = พลาสติกโมดูลัสของหน้าตัด

β = ตัวประกอบรูปร่าง

θ = มุมที่กระทำของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดเฉพาะที่ เมื่อเทียบกับ ระบบพิกัดในวงกว้างโดยวัดทวนเข็มนาฬิกา

δ^* = ระยะเยื้องศูนย์ในแนวดิ่งของแรงในแนวแกน

$\{\Delta^*\}$ = เมตริกซ์ของการเคลื่อนที่ทางข้างของแต่ละชั้นโดยรวมผลของ จาก P-Δ

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

λ_i = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก i จุด

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

λ^j_c = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมในวงรอบการทำงานที่ j

λ^{j-1}_c = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมในวงรอบการทำงานที่ j-1

υ = อัตราส่วนบัวซอง