

39/2

การวิเคราะห์โพลิลาสต์กอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว

นาย ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 633 - 617 - 7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17142064

SECOND-ORDER ELASTIC ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES
CONSIDERING CRACKING EFFECTS

Mr. Kajornsak Manosupsak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

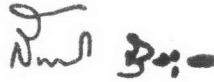
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974 - 633 - 617 - 7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ทฤษฎีลาตีกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริม
เหล็กโดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว
โดย นาย ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

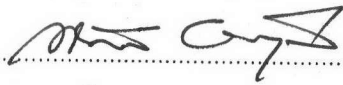


.....คนบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสูววรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



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



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)



.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ชัย)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชรสศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์ : การวิเคราะห์อีลาสติคอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กโดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว (SECOND-ORDER ELASTIC ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES CONSIDERING CRACKING EFFECTS)
อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 58 หน้า. ISBN 974-633-617-7

งานวิจัยนี้เสนอหลักการวิเคราะห์อีลาสติคอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าวของคอนกรีต ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตขององค์อาคารถูกพิจารณา โดยใช้สตีเฟนสเมตริกซ์ที่มีลักษณะแปรเปลี่ยนแบบพาราโบลาลดความยาวขององค์อาคารและคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกน ส่วนความไม่เชิงเส้นทางวัสดุจะพิจารณาจากวิธีวิเคราะห์หน้าตัด การแก้สมการไม่เชิงเส้นหลายตัวแปรใช้วิธีนิวตัน-แรฟสันและสตีเฟนสเมตริกซ์สัมผัส การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบกระทำโดยการตรวจสอบค่ายูคลีเดียนนอร์มให้ได้ค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด และใช้วิธีเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนเสถียรภาพของโครงสร้างหมดไป

ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ตามวิธีการที่เสนอให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่วิเคราะห์ได้มีค่าเบี่ยงเบนจากอดีตในระดับประมาณร้อยละ 5 นอกจากนี้วิธีการที่เสนอยังสามารถใช้วิเคราะห์โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้ 3 วิธีได้แก่ การวิเคราะห์อีลาสติคอันดับที่หนึ่ง การวิเคราะห์อีลาสติคอันดับที่สอง และการวิเคราะห์อีลาสติคอันดับที่สองโดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว ซึ่งเป็นการช่วยให้การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างทำได้ อย่างละเอียดและรวดเร็ว

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ และความรู้ที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และ อาจารย์ ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์มิไชย ซึ่งได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความนำ	1
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป	3
วัตถุประสงค์	3
ขั้นตอน และวิธีการดำเนินการวิจัย	3
ขอบข่ายการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวคิด	5
ความนำ	5
สมมติฐาน	5
สติฟเนสขององค์อาคาร	7
การรวมสติฟเนส	13
การวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยวิธีของนิวตัน - แรพสัน	16
การวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุโดยวิธีวิเคราะห์หน้าตัด	17
สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ฮิสตริกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กโดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว	23

บทที่ 3 ขั้นตอน และวิธีการวิจัย	28
ความนำ	28
องค์ประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	28
ขั้นตอนการก่อนการประมวลผล	30
ขั้นตอนการประมวลผล	30
ขั้นตอนหลังการประมวลผล	31
บทที่ 4 รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผล	32
ความนำ.....	32
รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่1	33
รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่2	37
รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่3	40
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	45
สรุปผล.....	45
ข้อเสนอแนะ.....	46
รายการอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก การหาสถิติฟเนสเชิงเส้นตัดแปลงและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต	50
ภาคผนวก ข ตัวอย่าง Input และ Output.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติขององค์อาคาร ตัวอย่างที่ 1..... 35
ตารางที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1..... 35
ตารางที่ 4.3	คุณสมบัติขององค์อาคาร ตัวอย่างที่ 2..... 38
ตารางที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2..... 39
ตารางที่ 4.5	คุณสมบัติขององค์อาคาร ตัวอย่างที่ 3.....41
ตารางที่ 4.6	ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3..... 41
ตารางที่ 4.7	เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์อิลาสติกอันดับที่สอง ที่คำนึงถึงผลของการแตกร้าว, อิลาสติกอันดับที่สอง และ อิลาสติกอันดับที่ หนึ่ง ตัวอย่างที่ 3 43

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต.....	6
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็ก.....	6
รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติขององค์อาคาร	7
รูปที่ 2.4 องค์อาคารภายใต้แรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่ง	7
รูปที่ 2.5 องค์อาคารวางในระบบพิกัดในวงกว้าง	14
รูปที่ 2.6 การวิเคราะห์อันดับที่สองโดยใช้วิธีนิวตัน - แรพสัน	17
รูปที่ 2.7 แสดงรายละเอียดหน้าตัด-ความเครียด-ความเค้นของคอนกรีตเสริมเหล็ก	21
รูปที่ 2.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุโดยวิธีวิเคราะห์หน้าตัด ...	22
รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์อิลาสติกอันดับที่สอง	23
รูปที่ 2.10 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้	26
รูปที่ 2.10 (ต่อ) แสดงแผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้	27
รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำการวิเคราะห์	29
รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 1.....	33
รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 1.....	34
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 1.....	36
รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 2.....	38
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางความยาวของคานเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 2.....	39
รูปที่ 4.6 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 3.....	40
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 3.....	42
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างเปรียบเทียบบหว่างการวิเคราะห์อิลาสติกอันดับที่หนึ่ง, อิลาสติกอันดับที่สอง และอิลาสติกอันดับที่สองที่คำนึงถึงผลของการแตกร้าวตัวอย่างที่ 3.....	44
รูปที่ ก.1 แสดงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยขององค์อาคาร.....	51

สัญลักษณ์

A_e	พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ
$[a]$	เมตริกซ์แปลง (Transformation matrix)
A_s	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
b	ความกว้างของหน้าตัด
C_c	แรงอัดในแนวแกนของคอนกรีต
C_t	แรงดึงในแนวแกนของคอนกรีต
d	ตำแหน่งของเหล็กเสริม
$\{d\}$	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนตำแหน่งในระบบพิกัดเฉพาะที่
E	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น
E_c	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
E_s	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
f_c'	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต
f_r	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต
f_s	หน่วยแรงของเหล็ก
f_y	หน่วยแรงคลากของเหล็ก
I	โมเมนต์ความเฉื่อย
kd	ความลึกของแนวแกนสะเทิน
$[K]$	เมตริกซ์สติฟเนสของโครงสร้าง
$[k_m]$	สติฟเนสเมตริกซ์เชิงเส้นดัดแปลง
$[k_G]$	สติฟเนสเมตริกซ์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต
$[K_g]^i$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคาร i ในระบบพิกัดในวงกว้าง
$[K(r)]$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนต่อค่าสติฟเนสของโมเมนต์และแรงเฉือนในระบบพิกัดในวงกว้าง

$[k(d)]$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนต่อค่าสติฟเนสของโมเมนต์และแรงเฉือนในระบบพิกัดเฉพาะที่
L	ความยาว
M	โมเมนต์
P	แรงในแนวแกน
$\{Q\}$	เวกเตอร์ของแรงคงค้าง (Unbalanced force vector)
$\{R\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในระบบพิกัดในวงกว้าง
$\{r\}$	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนตำแหน่งในระบบพิกัดในวงกว้าง
r_i	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ d.o.f. i
$\{S\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในระบบพิกัดเฉพาะที่
S_t	ผลรวมของแรงอัดและแรงดึงในแนวแกนของเหล็ก
S_i	แรงที่ปลายที่ dof i ขององค์อาคาร
t	ความลึกของหน้าตัด
u	การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกน
U	พลังงานความเครียด
v	การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวเฉือน
V	พลังงานศักย์
ϕ	ความโค้ง
ϵ	ความเครียด
ϵ_{tr}	ความเครียดสูงสุดที่ยอมให้ของคอนกรีตเนื่องจากแรงดึง
π	พลังงานศักย์รวม
σ	หน่วยแรง