

การวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

นาย อรรถพร หาญวานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-034-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SECOND ORDER ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE RIGID FRAMES

MR. ATTAPORN HANVANICH

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

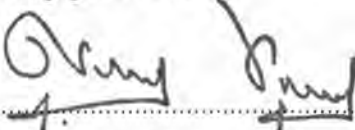
Academic Year 1997

ISBN 974-638-034-6

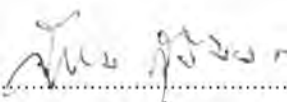
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็ง  
                                      คอนกรีตเสริมเหล็ก  
โดย                                นาย อรรถพร หาญวานิช  
ภาควิชา                            วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยมงคล )

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

  
.....กรรมการ  
( อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธ์ )

อรรถพร หาญวานิช : การวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ( SECOND ORDER ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE RIGID FRAMES ) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาติศรี, 67 หน้า. ISBN 974-638-034-6

งานวิจัยนี้เสนอหลักการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้างถูกพิจารณาโดยใช้สติเฟเนสมetri กซ์ที่มีลักษณะแปรเปลี่ยนแบบพาราโบลาลดความยาวขององค์อาคารเมื่อเกิดการแตกร้าว และคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกน ส่วนความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุและการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติกจะพิจารณาจากวิธีวิเคราะห์หน้าตัด สำหรับการวิเคราะห์อันดับที่สองได้ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้สมการไม่เป็นเชิงเส้นหลายตัวแปร และตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบโดยการกำหนดค่าที่ยอมรับได้จากค่ายูคลีเดียนนอร์มของแรงคงค้าง อนึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์เมื่อหน้าตัดเกิดการแตกร้าวจะทำการปรับปรุงสติเฟเนสขององค์อาคารใหม่โดยการคำนวณ ค่าสติเฟเนสตามแนวแกน และค่าสติเฟเนสการดัดเทียบเท่าจากวิธีเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์ และในกรณีที่เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นที่จุดต่อจะทำการเปลี่ยนสภาพความต่อเนื่องของจุดต่อนั้นๆเป็นแบบข้อหมุน จากนั้นจะทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆจนเสถียรภาพของโครงสร้างหมดไป

จากตัวอย่างที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เมื่อทำการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต และทางวัสดุ จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเบี่ยงเบนจากผลการทดสอบประมาณร้อยละ 5-10 แต่เมื่อคำนึงถึงการเกิดจุดหมุนพลาสติกแล้วจะพบว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าเบี่ยงเบนจากผลการทดสอบประมาณร้อยละ 5-25

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # C715049 : MAJOR CIVIL ENGINEER  
KEY WORD:

SECOND ORDER ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS / CONCRETE RIGID FRAMES /  
PLASTIC-HINGE

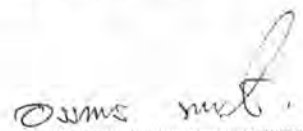

ATTAPORN HANVANICH : SECOND ORDER ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF  
REINFORCED CONCRETE RIGID FRAMES. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN  
THEPCHATRI, Ph.D. 67pp. ISBN 974-638-034-6

This research presents a principle of second order elastic-plastic analysis of reinforced concrete rigid frames. Structural geometrical nonlinearity is considered by including axial force effects in formulating the element stiffness. Material nonlinearity and plastic-hinge check, on the other hand, are solved by the method of section analysis. The Newton-Raphson method is used in solving simultaneous nonlinear equation in this second order analysis problem. Convergence is accomplished by specifying acceptable Euclidian norms of the residual forces. The analysis will continue until the structural instability is occurred.

In the analysis, cracks at sections are considered by modifying the element stiffness with the equivalent axial and bending stiffness. These equivalent stiffnesses are computed using the central difference method. At this step, the element bending stiffness will have a parabolic variation over the length. In addition, when the plastic-hinge is formed at the member end, the rigidity of the joint is then reduced. This is done by setting the joint to be pin-connected for the next load incremental step.

From the selected examples, the computed ultimate loads obtained from nonlinear analysis, considering geometrical and material nonlinearity, are about 5-10 percent deviated from the test results. However, when the plastic-hinge approach is considered, the results will be about 5-25 percent deviated from the test results.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

### กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล และ อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

อรรณพร หาญวานิช

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
สัญลักษณ์.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความนำ.....	1
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
งานที่ทำในงานวิจัยนี้.....	4
วัตถุประสงค์.....	4
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	5
ขอบข่ายการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวคิด.....	6
ความนำ.....	6
สมมติฐานที่ใช้.....	6
สติฟเนสขององค์อาคาร.....	8
การรวมสติฟเนส.....	15
การวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	17
การวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุโดยวิธีวิเคราะห์หน้าตัด.....	19
การเกิดจุดหมุนพลาสติก.....	25
ผลของแรงในแนวแกนต่อการเกิดจุดหมุนพลาสติก.....	27
การเปลี่ยนแปลงเมตริกซ์สติฟเนสของชิ้นส่วนเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก.....	28
สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็ง คอนกรีตเสริมเหล็ก.....	31

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอน และวิธีการวิจัย.....	35
ความน่า.....	35
องค์ประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	35
ขั้นตอนการก่อนการประมวลผล.....	37
ขั้นตอนการประมวลผล.....	37
ขั้นตอนหลังการประมวลผล.....	38
บทที่ 4 รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผล.....	39
ความน่า.....	39
รายงานผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 1.....	40
รายงานผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 2.....	45
รายงานผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 3.....	50
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	55
สรุปผล.....	55
ข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก. ความสัมพันธ์ของความเครียด-การเปลี่ยนตำแหน่ง.....	60
ภาคผนวก ข. การหาสถิติเฟนสเชิงเส้นดัดแปลงและ ไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต.....	62
ภาคผนวก ค. ตัวอย่าง Input และ Output.....	65
ประวัติผู้เขียน.....	67



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 1.....	42
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยขึ้นส่วนเพื่อหาการรู้เข้าของคำตอบ ตัวอย่างที่ 1.....	42
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1.....	43
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 2.....	47
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยขึ้นส่วนเพื่อหาการรู้เข้าของคำตอบ ตัวอย่างที่ 2.....	47
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2.....	48
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 3.....	52
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยขึ้นส่วนเพื่อหาการรู้เข้าของคำตอบ ตัวอย่างที่ 3.....	52
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3.....	53

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต.....	7
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม.....	7
รูปที่ 2.3 องค์อาคารภายใต้แรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่ง.....	8
รูปที่ 2.4 การแปรเปลี่ยนสติฟเนสของการตัดขององค์อาคารเมื่อน้ำตัดเกิดการ แตกร้าว.....	11
รูปที่ 2.5 องค์อาคารวางในระบบพิกัดหลัก.....	15
รูปที่ 2.6 การวิเคราะห์อันดับที่สองโดยวิธี นิวตัน- رافสัน.....	17
รูปที่ 2.7 แสดงการกระจายความเครียด- การกระจายหน่วยแรงของหน้าตัด คอนกรีตเสริมเหล็ก.....	23
รูปที่ 2.8 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุโดย การวิเคราะห์หน้าตัด.....	24
รูปที่ 2.9 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่ง ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	25
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะความสัมพันธ์และแบบจำลองของความสัมพันธระหว่าง ค่าโมเมนต์ดัดและค่าความโค้งของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	26
รูปที่ 2.11 องค์อาคารเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกที่ปลาย.....	28
รูปที่ 2.12 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้.....	33
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำการวิเคราะห์.....	36
รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 1.....	40
รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 1.....	40
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้าง เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1.....	43
รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 2.....	45
รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 2.....	45
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้ง ที่จุดกึ่งกลางความยาวของคานเปรียบเทียบกับ งานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2.....	48

รูปที่ 4.7	ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 3.....	50
รูปที่ 4.8	ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 3.....	50
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้าง เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3.....	53

## สัญลักษณ์

$\{a\}$	เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง
$A$	พื้นที่หน้าตัด
$A_c$	พื้นที่หน้าตัดเทียบเท่าเมื่อหน้าตัดแตกร้าง
$A_s$	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
$b$	ความกว้างของหน้าตัด
$C_c$	แรงเนื่องจากหน่วยแรงอัดของคอนกรีต
$C_r$	แรงเนื่องจากหน่วยแรงดึงของคอนกรีต
$d$	ความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด
$\{d\}$	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนตำแหน่งในระบบพิกัดเฉพาะที่
$E$	อีลาสติกโมดูลัส
$E_c$	อีลาสติกโมดูลัสของคอนกรีต
$E_s$	อีลาสติกโมดูลัสของเหล็กเสริม
$f'_c$	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต
$f_r$	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต
$f_s$	หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม
$f_y$	หน่วยแรงดึงที่จุดคูกากของเหล็กเสริม
$I$	โมเมนต์ของความเฉื่อย
$I_c$	โมเมนต์ของความเฉื่อยเทียบเท่าเมื่อหน้าตัดแตกร้าง
$kd$	ความลึกจากผิวด้านรับแรงอัดของหน้าตัดถึงแกนสะเทิน
$\{k_g\}$	สติเฟเนสมตริกซ์ไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต
$\{k_m\}$	สติเฟเนสมตริกซ์เชิงเส้นตัดแปลง
$[K]$	สติเฟเนสมตริกซ์ของโครงสร้าง
$[K_g]$	สติเฟเนสมตริกซ์ขององค์อาคารในระบบพิกัดหลัก
$L$	ความยาวขององค์อาคาร
$M$	โมเมนต์ตัด
$P$	แรงในแนวแกน

$q$	แรงคงค้าง
$\{q\}$	เวกเตอร์ของแรงคงค้าง
$\{r\}$	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนตำแหน่งในระบบพิกัดหลัก
$\{R\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในระบบพิกัดหลัก
$s$	แรงกระทำขององค์อาคารในระบบพิกัดเฉพาะที่
$\{S\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในระบบพิกัดเฉพาะที่
$S_c$	แรงเนื่องจากหน่วยแรงอัดของเหล็กเสริม
$S_t$	แรงเนื่องจากหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม
$t$	ความลึกของหน้าตัด
$u$	การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกนขององค์อาคาร
$U$	พลังงานความเครียด
$v$	การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งฉากกับแกนขององค์อาคาร
$V$	พลังงานศักย์
$\phi$	ค่าความโค้ง
$\varepsilon$	ความเครียด
$\varepsilon_c$	ความเครียดที่ผิวด้านรับแรงอัดของคอนกรีต
$\varepsilon_r$	ความเครียดเนื่องจากหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต
$\varepsilon_s$	ความเครียดของเหล็กเสริม
$\varepsilon_t$	ความเครียดเนื่องจากหน่วยแรงดึงของคอนกรีต
$\varepsilon_y$	ความเครียดที่จุดคลากของเหล็กเสริม
$\pi$	พลังงานศักย์รวม
$\sigma$	ความเค้น