

พุทธิกรรมเชิงวัฒนธรรมของโครงข้อแข็งระบบนักอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาปฏิสัมพันธ์
ของแกนคอนกรีต-เหล็กเสริมตามยาว-เหล็กเสริมตามขวาง

นาย จาเริก ถีระวงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาชีวกรรมโยธา ภาควิชาชีวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3742-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CYCLIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE PLANE FRAMES
CONSIDERING CONCRETE CORE-LONGITUDINAL BAR-TRANSVERSE STEEL
INTERACTION

Mr. Jaruek Teerawong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003
ISBN 974-17-3742-4

Thesis Title Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Plane Frames Considering
Concrete core-Longitudinal bar-Transverse Steel Interaction

By Mr. Jaruek Teerawong

Field of Study Civil Engineering

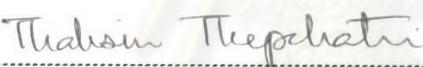
Thesis Advisor Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.

Thesis Co-advisor Assistant Professor Teerapong Senjuntichai, Ph.D.

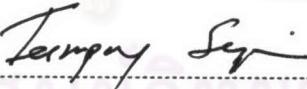
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment o Requirements for the Doctor's Degree


.....
Dean of Faculty of Engineering
(Professor Somsak Panyakeow, D.Eng.)

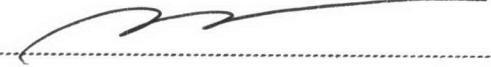
THESIS COMMITTEE


.....
Chairman
(Professor Thaksin Thepchatri, Ph.D.)


.....
Thesis Advisor
(Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.)


.....
Thesis Co-advisor
(Assistant Professor Teerapong Senjuntichai, Ph.D.)


.....
Member
(Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.)

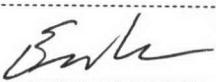

.....
Member
(Assistant Professor Chadchart Sittipunt, Ph.D.)


.....
Member
(Assistant Professor Nares Pantaratorn, Ph.D.)

อาจารย์ ถีระวงศ์ พฤติกรรมเชิงวัสดุจัดของโครงข้อแข็งแรงบนคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาปฎิสัมพันธ์ของแกนคอนกรีต-เหล็กเสริมตามยาว-เหล็กเสริมตามขวาง. (CYCLIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE PLANE FRAMES CONSIDERING CONCRETE CORE-LONGITUDINAL BAR-TRANSVERSE STEEL INTERACTION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศ. ดร. ปณิธาน ลักษณะประสิทธิ์, 63 หน้า. ISBN 974-17-3742-4.

ปฎิสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวแกนคอนกรีตกับการเปลี่ยนรูปของเหล็กปลอกรอบนอกมีผลสำคัญต่อการโอบรัดประสิทธิภาพของเสาสี่เหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก การศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีการหากำลังของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมอัตรัสซึ่งถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอกแบบสี่เหลี่ยมที่มีการจัดเรียงรูปแบบต่างๆ โดยพิจารณาอิทธิพลโดยตรงของเฟลกซิบิลิตี้ของการดัดของเหล็กปลอกและการแปรเปลี่ยนของความเด่นเนื่องจากการโอบรัดในแนวตั้งซึ่งไม่ได้ถูกพิจารณาโดยตรงในแบบจำลองอื่นๆ ส่วนใหญ่ที่มีอยู่ แนวคิดเกี่ยวกับความสอดคล้องของพื้นที่ถูกใช้เพื่อกำหนดความสอดคล้องของการเปลี่ยนรูปโดยรวมของแกนคอนกรีตและเหล็กปลอกรอบนอก แบบจำลองการโอบรัดที่เสนอเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับการเปลี่ยนแปลงความโค้งของเสารับแรงกระทำแนวราบแบบวัสดุจัด แบบจำลองการโอบรัดที่เสนอได้ถูกพนักเข้าไปในโปรแกรมไฟฟ้าโน๊ตบุ๊คโดยไม่ได้พิจารณาผลของการโอบรัดของเหล็กยืน โปรแกรมที่ปรับปรุงนี้ถูกนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองไฟฟ้าโน๊ตบุ๊คที่อัลลิเมนน์โดยไม่ได้พิจารณาผลของความสอดคล้องด้วยชิ้นส่วนความเด่นระหว่างการจัดเรียงแบบง่ายโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโครงข้อแข็งแรงบนคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองไฟฟ้าโน๊ตบุ๊คที่อัลลิเมนน์แบบง่ายโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโครงสร้างที่ถูกจำลองด้วยชิ้นส่วนความเด่นระหว่างการจัดเรียงแบบง่าย ที่ถูกตรวจสอบกับผลทดสอบของนักวิจัยอื่นๆ ส่วนของโครงสร้างใช้ชิ้นส่วนคอนกรีติกแทน ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกตรวจสอบกับผลทดสอบของนักวิจัยอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....	วิศวกรรมโยธา.....	ลายมือชื่อนิสิต.....	ลงชื่อ.....
สาขาวิชา.....	วิศวกรรมโยธา.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....	
ปีการศึกษา.....	2546.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....	

4171802921: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: REINFORCED CONCRETE / COLUMNS / PLANE FRAMES / CONFINED CONCRETE / REINFORCEMENT BUCKLING / TIE FLEXIBILITY

JARUEK TEERAWONG : CYCLIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE PLANE FRAMES CONSIDERING CONCRETE CORE-LONGITUDINAL BAR-TRANSVERSE STEEL INTERACTION. THESIS ADVISOR: PROF. PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph. D., 63 pp. ISBN 974-17-3742-4

The interaction between concrete core expansion and deformation of perimeter ties has been known to have a significant effect on the effective confinement of rectangular reinforced concrete (RC) tied columns. This study presents a procedure for determining the confined strength of RC square columns confined by rectilinear ties with various tie configurations considering directly the influence of flexural flexibility of the ties and the variation of confining stress along the vertical direction, which are not directly considered in most existing models. The concept of area compatibility is employed to ensure compatibility of the concrete core and steel hoop in a global sense. The buckling model of the longitudinal reinforcement inside a RC column as proposed by Dhakal (2000) is used together with the proposed confinement model to obtain the envelope moment-curvature relationships of columns under cyclic lateral loadings. The proposed confinement model is incorporated into the finite element program without consideration of rebar buckling and the modified program is used to study the behavior of selected reinforced concrete columns and plane frames. The effectiveness of a simplified finite element modeling is explored by comparing the result of a plane frame fully modeled by 2-D plane stress elements with that of a simplified model with part of the structure represented by an elastic beam element. The results are verified against the experimental results from various researchers.

Department Civil Engineering Student's Signature ลายเซ็นนักศึกษา
 Field of study Civil Engineering Advisor's Signature ลายเซ็นอาจารย์ที่ปรึกษา
 Academic year 2003 Co-advisor's Signature ลายเซ็นผู้ช่วยที่ปรึกษา

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his deep appreciation to his advisor, Professor Dr. Panitan Lukkunaprasit, for his kindness, helpful suggestions and careful supervision throughout this study. Sincere thanks are extended to his co-advisor, Assistant Professor Dr. Teerapong Senjuntichai, for his comments on this dissertation. Acknowledgement is also given to the author's thesis committee, Professor Dr. Thaksin Thepchatri, Professor Dr. Ekasit Limsuwan, Assistant Professor Dr. Chadchart Sittipunt and Assistant Professor Dr. Nares Pantaratorn. Special thanks go to Mr.Assawin Warnitkorkul, Mr.Somboon Shaingshin, Mr.Wissawa Chakpaisarn and Mr.Sayan Sirimontri and also to everyone who have been involved directly and indirectly in the preparation of this dissertation. The author is also grateful to the Thailand Research Fund (TRF) and Khon Kaen University for their supports of this dissertation.

Finally, the author would like to express his gratitude and indebtedness to his parents for their support and encouragement.

คุณย์วิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

	Pages
Abstract (Thai).....	iv
Abstract (English).....	v
Acknowledgments.....	vi
Contents.....	vii
List of tables.....	ix
List of figures.....	xii
 Chapter 1 Introduction.....	 1
1.1 General.....	1
1.2 Literature review.....	2
1.2.1 Confinement model for normal- and high-strength concrete.....	2
1.2.2 Buckling of longitudinal reinforcement.....	3
1.3 Objectives and scope of study.....	5
1.4 Assumptions.....	5
Chapter 2 Confinement and reinforcement buckling models.....	7
2.1 Confinement model with consideration of concrete core-transverse steel interaction.....	7
2.1.1 The concept.....	7
2.1.2 Relationship between peak and average stresses and strains.....	8
2.1.3 Deformation of concrete under triaxial stress state.....	10
2.1.4 Equilibrium condition.....	11
2.1.5 Modeling of hoop.....	13
2.1.6 Compatibility of concrete-tie system.....	14
2.1.7 Procedure for determining stress-strain relation.....	15
2.2 Reinforcing buckling.....	15
Chapter 3 Verification of proposed confinement models.....	25
3.1 Stress-strain relation for confined concrete.....	25
Chapter 4 Behavior of reinforced concrete columns and plane frames.....	35
4.1 Introduction.....	35
4.1.1 Procedure for determining moment-curvature relationship.....	35

CONTENTS (continued)

4.1.2 Comparison of analytical and experimental envelope moment-curvature relationships	36
4.2 Cyclic behavior of reinforced concrete columns and plane frames	37
4.2.1 Finite element analysis	37
4.2.2 Material models for finite element analysis	38
4.2.3 Load-displacement relationship for reinforced concrete columns	40
4.2.4 Load-displacement relationship for reinforced concrete plane frames	40
Chapter 5 Summary and conclusions	54
5.1 Summary	54
5.2 Conclusions	54
References	56
Appendices	60
Appendix A	61
Appendix B	62
Biography	67

LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
2.1 (a)	Column core under consideration.....	18
2.1 (b)	Deformation of Portion A.....	18
2.2 (a)	Interactive confining forces at hoop level acting on concrete.....	18
2.2 (b)	Interactive confining forces at hoop level acting on perimeter tie.....	18
2.3	Internal stress distribution in the concrete core at section 1-1.....	19
2.4	Results from finite element analyses.....	20
2.5	Equilibrium condition.....	21
2.6	Tensile strength-crack width relationship.....	21
2.7	Distribution of interactive line forces and resultant forces on part of perimeter tie at transverse restraints.....	22
2.8	Equilibrium condition of hoop leg after flexural failure mechanism.....	22
2.9	Concept of area compatibility.....	23
2.10	Typical stress-strain relation for reinforcement under compression [Dhakal (2000)].....	23
3.1	Variation of normalized hoop strains with volumetric ratios.....	27
3.2	Typical arrangements of transverse steel.....	27
3.3	Comparison of $\sigma_{eff,prop}$ with $\sigma_{eff,RS}$	28
3.4	Comparison of predicted confined compressive strength with experimental results.....	28
3.5	Stress-strain relationship for column CS-24 [Razvi and Saatcioglu (1999)].....	29
3.6	Stress-strain relationship for column Unit 3 [Nishiyama et al. (1993)].....	29
3.7	Stress-strain relationship for column 2A5-14 [Sheikh and Uzumeri (1980)].....	30
3.8	Stress-strain relationship for column 4B6-21 [Sheikh and Uzumeri (1980)].....	30

LIST OF FIGURES (continued)

3.9	Stress-strain relationship for column 4D6-24 [Sheikh and Uzumeri (1980)].....	31
4.1 (a)	Reinforced concrete column section.....	42
4.1 (b)	Strain distribution.....	42
4.2	Comparison of predicted envelope moment-curvature relationship with experimental results for column CFL90/0.37.....	43
4.3	Comparison of predicted envelope moment-curvature relationship with experimental results for column CF135/0.30.....	43
4.4	Comparison of predicted envelope moment-curvature relationship with experimental results for column CFL90/0.30.....	44
4.5	Comparison of predicted envelope moment-curvature relationship with experimental results for column CF135/0.37.....	44
4.6	Comparison of predicted moment-curvature relationship with enveloped experimental results for column AS-17 [Sheikh and Khoury (1993)].....	45
4.7	Comparison of predicted moment-curvature relationship with enveloped experimental results for column AS-18 [Sheikh and Khoury (1993)].....	45
4.8	Analytical stress-strain relationships for longitudinal bars under compressive strain.....	46
4.9	Tension stiffening model [Sittipunt and Wood (1993)].....	46
4.10	Schematic representation of crack closing and reopening in FINITE [Sittipunt and Wood (1993)].....	47
4.11	Compressive cyclic stress-strain relationship in FINIT [Sittipunt and Wood (1993)].....	47
4.12	The cyclic shear model in FINITE [Sittipunt and Wood (1993)].....	48
4.13	Finite element model for a reinforced concrete column.....	49
4.14	Comparison of experimental with analytical load-displacement curves for column CF135/0.30	49
4.15	Dimensions and details for the RC plane frames (Frame I and II) used in the finite element study.....	50
4.16	Finite element model for Frame type I and type II	50

LIST OF FIGURES (continued)

4.17	Load-displacement relationships for the Frame I and Frame II.....	51
4.18	Simplified finite element model for Frame type II.....	51
4.19	Comparison of solutions from full finite element model with simplified model.....	52



ศูนย์วิทยบรังษยการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table	Title	Page
2.1	Required equivalent stiffness for different buckling modes [Dhakal (2000)].....	24
3.1	Strength enhancement in square columns tested by Sun et al. (1996).....	32
3.2	Strength enhancement in square columns tested by Razvi and Saatcioglu (1999).....	32
3.3	Strength enhancement in square columns tested by Nishiyama et al. (1993).....	33
3.4	Strength enhancement in square columns tested by Nagashima et al. (1992).....	33
3.5	Strength enhancement in square columns tested by Sheikh and Uzumeri (1980).....	34
4.1	Details of columns tested at Chulalongkorn University by Lukkunaprasit and Sittipunt (2003).....	53
4.2	Details of columns tested by Sheikh and Khoury (1993).....	53
B-1	Details on determination peak confined compressive strength for column CS-24.....	62
B-2	Details on determination peak confined compressive strength for column Unit 3.....	63
B-3	Details on determination peak confined compressive strength for column 2A5-14.....	64
B-4	Details on determination peak confined compressive strength for column 4B6-21.....	65
B-5	Details on determination peak confined compressive strength for column 4D6-24.....	66