

พฤติกรรมของ เสาคอนกรีต เสริม เหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก



นายมานิต ศิวกุล

007391

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-558-7

i 17019722

Behaviour of Reinforced Concrete Columns

Made of Very High Strength Concrete

Mr. Manit Sivakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

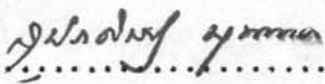
Chulalongkorn University

1982

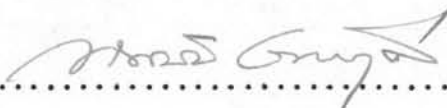
หัวข้อวิทยานิพนธ์ พหุติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก
โดย นายมานิต ศิวกุล
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....  คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประสิทธิ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทักขิน เทพชาตรี)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ มานะ วงศ์พิวัลน์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมของ เสาคอนกรีต เสริม เหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก
ชื่อนิสิต	นายมานิต สีวกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2525



บทคัดย่อ

คอนกรีตกำลังสูงมากที่ผลิตโดยการเติมสารผสมเพิ่ม เพื่อการลดน้ำสามารถให้กำลังคอนกรีตสูงถึง 1,000 กก/ซม². และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเสาและชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงเพื่อช่วยลดขนาด ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15 ซม. สูง 100 ซม. และหล่อด้วยคอนกรีตที่มีกำลังสูงเฉลี่ย 850 กก/ซม². แบ่งตัวอย่างทดสอบออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกรับน้ำหนักบรรทุกตรงศูนย์กลางมี 6 ตัวอย่าง จัดให้เหล็กเสริมยื่นเป็นตัวแปรจาก 0-10.6 % กลุ่มที่สองรับน้ำหนักบรรทุกทุกเยื้องศูนย์กลางมี 5 ตัวอย่าง กำหนดให้สัดส่วนระหว่างระยะเยื้องศูนย์กลางต่อความหนาเสาเป็นตัวแปรจาก 0-1.10 ในการทดสอบนี้จะบันทึกน้ำหนักบรรทุก ความเครียด การโก่งตัวและลักษณะการแตกร้าวจากจุดเริ่มแรกจนกระทั่งวิบัติ

ผลการทดสอบและวิเคราะห์เสาดังกล่าวในกลุ่มรับน้ำหนักบรรทุกตรงศูนย์กลางพบว่า ความเครียดคอนกรีตสูงสุดของเสาประเภทนี้จะแปรผกผันกับสัดส่วนเหล็กเสริมยื่น และมีแนวโน้มว่าเสาจะวิบัติก่อน เหล็กเสริมยื่นถึงกำลังคลากเมื่อใช้เหล็กเสริมยื่นเกิน 7.5 % การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาโดยวิธีของ Khan และ ACI จะให้ค่าที่ปลอดภัย โดยที่ให้ค่าต่ำกว่าการทดสอบประมาณ 9 และ 13 % ตามลำดับ สำหรับการทดสอบแบบเยื้องศูนย์กลาง ปรากฏว่าปฏิสัมพันธ์ของแรงในแนวแกนและแรงดัด สามารถคาดคะเนได้อย่างถูกต้องโดยวิธี Nedderman หรือ ACI เมื่อเสาวิบัติโดยแรงดัดเป็นหลัก แต่ถ้าเสาวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก การคาดคะเนโดยวิธี Nedderman และ ACI จะให้ค่าต่ำกว่าการทดสอบ

Thesis Title Behaviour of Reinforced Concrete Columns Made of
Very High Strength Concrete

Name Mr. Manit Siwakul

Thesis Advisor Associate Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1982



ABSTRACT

Very high strength concrete produced by means of minimizing water to cement ratio in combination with the use of superplasticizer for workability will achieve the compressive strength at 28 days up to about 1000 ksc. It can be efficiently utilized in structural members where high compressive strength is desirable such as columns or pre-stressed concrete members. This research study was carried out to seek for a proper concrete mix using local materials for the average compressive strength at 28 days of 850 ksc. Eleven columns with 15 cm. square section and 100 cm. height were casted. Experimental programs can be categorized into two series; the first series was a concentric loading with variable of vertical reinforcement percentage ranging from 0 to 106. % and the second one was an eccentric loading with the eccentricity as a variable. Loads, strains, deflections and crack patterns had been observed and recorded during the test to failure.

Test results and analyses have shown that maximum concrete strains in the first series vary inversely to the percentage of reinforcement and the columns tended to reach failure before yielding

2

of vertical steel when its percentage was more than 7.5. Ultimate strengths predicted by means of Khan and ACI yield conservative values, about 9 and 13 % lower than the test results, respectively. The interaction diagrams predicted by ACI and Nedderman showed good agreement with the test results when tension failure mode governed, however, slight discrepancies are indicated when compression failure mode controlled and the tested values were higher than the predicted ones.

กิติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากขณะทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้กรุณาแก้ไขและตรวจวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนยังใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี รองศาสตราจารย์ มานะ วงศ์พิวัฒน์ และรองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อันจะทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท พร้อมมิตร คอนกรีตและ หจก. เครื่องเวทย์ก่อสร้าง ที่ช่วยเหลือด้านวัสดุรวมทั้งขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความสนใจและความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

มานิต ศิวกุล

สารบัญ

	หน้า
✓ บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ช
✓ รายการตารางประกอบ	ญ
✓ รายการรูปประกอบ	ฎ
✓ สัญลักษณ์	ฉ
✓ นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค	ค
บทที่	
✓ 1. บทนำ	1
✓ 2. การเตรียมตัวอย่างทดสอบและวัสดุที่ใช้	5
2.1 ตัวอย่างทดสอบ	5
2.2 วัสดุ	5
2.3 การเตรียมตัวอย่าง	10
✓ 3. การทดสอบและผลการทดสอบ	12
3.1 การเตรียมเครื่องมือและตัวอย่างทดสอบ	12
3.2 การทดสอบตัวอย่าง	14
3.3 ผลการทดสอบ	15
4. การวิเคราะห์	18
4.1 กลุ่มที่มีเหล็กเสริมยื่นเป็นตัวแปร	18
4.1.1 กำลังในแนวแกน	18
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียด	23
4.1.3 เปรียบเทียบกำลังประลัยระหว่างผลการทดลองกับ Khan	
และ ACI	24

บทที่

4.1.4	อิทธิพลสัดส่วนเหล็กเสริมยื่นต่อกำลังของเสา	25
4.2	กลุ่มที่มีระยะเยื้องศูนย์กลางเป็นตัวแปร	26
4.2.1	กำลังเยื้องศูนย์กลางของเสา	26
4.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียด ...	30
4.2.3	ปฏิสัมพันธ์ของแรงในแนวแกนและแรงดัด	32
✓ 5.	สรุปผลการวิจัย	35
✓	เอกสารอ้างอิง	36
✓	ประวัติ	92

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1	40
2.2	40
2.3	41
2.4	42
2.5	43
2.6	43
4.1	44
4.2	45
4.3	46
4.4	47
4.5	48
4.6	49
4.7	50
4.8	50
4.9	51

ตารางที่

หน้า

4.10	เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกและแรงค้ำระหว่างผลการทดลองกับการ คำนวณของเสา CE 055	52
4.11	เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกและแรงค้ำระหว่างผลการทดลองกับการ คำนวณของเสา CE 095	53
4.12	เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกและแรงค้ำระหว่างผลการทดลองกับการ คำนวณของเสา CE 165	54
4.13	เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกและแรงค้ำระหว่างผลการทดลองกับการ คำนวณของเสา CE ∞	55
4.14	แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนและแรงค้ำ โดยวิธี ACI, Neddermann และการทดลอง	56

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดและการเสริมเหล็ก	57
2.2 ก. แบบหล่อตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่มีเหล็กเสริมยื่นเป็นตัวยแปร	58
2.2 ข. แบบหล่อตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่มีการเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกเป็น ตัวยแปร	58
2.3 ปริมาณคละของหิน	59
2.4 ปริมาณคละของทราย	60
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตทรง กระบอก ควบคุมตัวอย่างทดสอบ C-00, C-12 และ C-16	61
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตทรง กระบอก ควบคุมตัวอย่างทดสอบ C-20, C-25 และ C-28	62
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตทรง กระบอก ควบคุมตัวอย่างทดสอบ CE 000 และ CE ∞	63
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตทรง กระบอก ควบคุมตัวอย่างทดสอบ CE 055, CE 095 และ CE 165 ..	64
3.1 ก. การคิดเม็คกระคุมสำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีเหล็กเสริมยื่นเป็นตัวยแปร .	65
3.1 ข. การคิดเม็คกระคุมสำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีการเยื้องศูนย์ของน้ำหนัก บรรทุกเป็นตัวยแปร	65
3.2 การจัดน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบคมีคของตัวอย่างทดสอบที่มีการเยื้องศูนย์ ของน้ำหนักบรรทุกเป็นตัวยแปร	66
3.3 การจัดน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบคมีคของตัวอย่างทดสอบที่มีการเยื้องศูนย์ ของน้ำหนักบรรทุก∞	66
3.4 โครงเหล็กป้องกันเสาล้ม	67
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของเสาที่มีเหล็ก เสริมยื่นเป็นตัวยแปร	68

3.6	ลักษณะการวิบัติของเสาที่มี เหล็กเสริมยื่นเป็นตัวแปร	69
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการ โกงตัวที่จุดกึ่งกลางเสารับ น้ำหนักบรรทุกทุกเยื้องศูนย์	70
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความ เกรียดคอนกรีตที่ผิวรับแรง อัดที่จุดกึ่งกลางเสา	71
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความ เกรียด เหล็กเสริมยื่นรับแรงดึง	72
3.10	ลักษณะการวิบัติของ เสารับน้ำหนักบรรทุก เยื้องศูนย์	73
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความ เกรียดของ เหล็กเสริมยื่น Ø 16 มม.	74
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความ เกรียดของ เหล็กเสริมยื่นแบบ เสมือน (Idealize)	74
4.3	แสดงค่า k	75
4.4	แสดงค่า e และ m	75
4.5	การ เปรียบ เทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบของ เสา C-00	76
4.6	การ เปรียบ เทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบของ เสา C-12	77
4.7	การ เปรียบ เทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบของ เสา C-16	78
4.8	การ เปรียบ เทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบของ เสา C-20	79
4.9	การ เปรียบ เทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบของ เสา C-25	80
4.10	การ เปรียบ เทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบของ เสา C-28	81
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของ เสา กับ เปอร์ เซ็นต์ เหล็กเสริมยื่น	82
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์ เซ็นต์ เหล็กเสริมยื่นกับความ เกรียดคอนกรีตที่ จุดเสาวิบัติ	83

รูปที่	หน้า
4.13 การกระจายแรงและความเครียดตามทฤษฎีอีลาสติก	84
4.14 การกระจายแรงและความเครียดตามทฤษฎีประลัยของ Nedderman ..	85
4.15 การกระจายแรงและความเครียดตามทฤษฎีประลัยของ ACI	86
4.16 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจากทดสอบกับการคำนวณของเสา CE-055	87
4.17 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจากทดสอบกับการคำนวณของเสา CE 095	88
4.18 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจากทดสอบกับการคำนวณของเสา CE 165	89
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะแกนสะเทินกับน้ำหนักบรรทุก	90
4.20 ปฏิสัมพันธ์ของแรงในแนวแกนและแรงดัด	91

สัญลักษณ์

A_C	=	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต
A_{CC}	=	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตนอก เหล็กปลอก
A_S	=	พื้นที่หน้าตัด เหล็ก เสริมยื่นรับแรงดึง
A'_S	=	พื้นที่หน้าตัด เหล็ก เสริมยื่นรับแรงอัด
b	=	ความกว้างเสา
c	=	ระยะแกนสะเทินวัดจากผิวคอนกรีตรับแรงอัด
C_C	=	น้ำหนักบรรทุกที่แยกรับโดยคอนกรีต เมื่อ เสารับน้ำหนักบรรทุก เอียงศูนย์
C_S	=	น้ำหนักบรรทุกที่แยกรับโดยเหล็กเสริมยื่นรับแรงอัด เมื่อ เสารับน้ำหนักบรรทุก เอียงศูนย์
d	=	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง เหล็กปลอกหรือระยะจากผิวคอนกรีตรับแรงอัด ไปยัง ศูนย์กลาง เหล็กเสริมยื่นรับแรงดึง
D	=	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง เหล็กเสริมยื่น
e	=	ระยะ เอียงศูนย์
E_{CS}	=	ความแข็งแกร่งสัมพัทธ์
E_t	=	โมดูลัสยืดหยุ่นสัมผัส (Tangent Modulus)
E_S	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของ เหล็ก
f_c	=	หน่วยแรงในคอนกรีต
f'_c	=	กำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอก
f_{cr}	=	หน่วยแรงวิกฤติในเหล็กเสริมยื่น
f_y	=	กำลังคลากเหล็กเสริมยื่น
k	=	ตัวคูณความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor)
k_1	=	อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตต่อหน่วยแรงอัดที่มากที่สุดของคอนกรีต
k_2	=	อัตราส่วนระหว่างระยะจากผิวรับแรงอัดมายังแรงลัพท์ของคอนกรีตต่อระยะจากผิวรับแรงอัดมายังแกนสะเทิน

k_3	= อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงอัดที่มากที่สุดของคอนกรีตต่อกำลังอัดคอนกรีต ทรงกระบอก
P	= น้ำหนักบรรทุกทุกของเสา
P_c	= น้ำหนักบรรทุกส่วนที่รับโดยคอนกรีต
P_s	= กำลังในเหล็กเสริมยื่น
P_u	= น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสา
P_{cu}	= น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่รับโดยคอนกรีต
P_{su}	= กำลังประลัยในเหล็กเสริมยื่น
s	= ระยะ เหล็กปลอก
S_{fc}	= หน่วยแรงของคอนกรีตภายในเหล็กปลอกที่เพิ่มขึ้น
T	= น้ำหนักบรรทุกที่แยกรับโดยเหล็กเสริมยื่นรับแรงดึง
ϕ_1	= ตัวคูณลดกำลังของ เสาที่ไม่มีคอนกรีตนอก เหล็กปลอก
ϕ_2	= ตัวคูณลดกำลังซึ่งมีผลมาจากคอนกรีตนอกเหล็กปลอก
ρ	= % เหล็กเสริมยื่น
ϵ_c	= ความ เเคียดอัดคอนกรีตที่ตำแหน่งผิวรับแรงอัด
ϵ_s	= ความ เเคียดดึงของ เหล็กเสริมยื่นรับแรงดึง

นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค

การคืบตัวและหดตัว	Creep and Shrinkage
การโก่งตัว	Deflection
การแตกร้าว	Crack
การวิบัติ	Failure
เกจวัดความเครียดไฟฟ้า	Electrical Strain Gauge
เกจวัดความเครียดชนิดเชิงกล	Mechanical Strain Gauge
เกจแบบหน้าปัทม์	Dial Gauge
โก่งเคาะ	Buckling
กำลังคลาก	Yield Stress
กำลังประลัย	Ultimate Strength
กำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอก	Cylindrical Compressive Strength
ความสามารถในการเท	Workability
ความชลูด	Slenderness
ความเครียด	Strain
คลื่นลูกเดียว	Single Curvature
โครงข้อแข็ง	Frame
โครงยึด	Stiffener
จุดกลับโค้ง	Inflection point
ตัวประกอบเพื่อความปลอดภัย	Factor of Safety
สารผสมเพิ่ม	Admixture
เนื้อปูนทราย	Cement paste
น้ำหนักบรรทุกคงที่	Dead Load
น้ำหนักบรรทุกจร	Live Load
หน่วยแรง	Stress
หน่วยแรงวิกฤติ	Critical Stress

แนวแกนสะเทิน	Neutral Axis
ปริมาณคละ	Gradation
โมดูลัสความละเอียด	Fineness Modulus
โมดูลัสยืดหยุ่น	Modulus of Elasticity
การแยกด้วยตะแกรงร่อน	Sieve Analysis
แรงยึดเหนี่ยว	Bond Strength
แรงค้ำ	Moment
อิทธิพลจากการโอบ	Confinement
เสมือน	Idealize