

การศึกษากำลัังคานทานแรงคักและแรงนิกประลััยขององค้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



นายเอนก ฉัทรเสถียร

006724

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูทรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

A STUDY OF ULTIMATE STRENGTH OF FLEXURAL AND TORSIONAL REINFORCED  
CONCRETE MEMBERS

Mr. Anek Chatsathien

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Civil Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1980


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษากำลังต้านทานแรงค้ำและแรงบีบประลัยขององค์อาคาร  
คอนกรีตเสริมเหล็ก

โดย นายเอก ฉัตรเสถียร


ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร

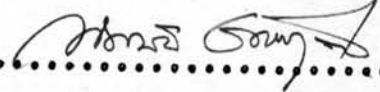
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษิตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประสิทธิ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(ยศ. ดร. เอกสิทธิ์ สิมสุวรรณ)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร)

.....  ..... กรรมการ  
(ยศ. ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

.....  ..... กรรมการ  
(ยศ. มานะ วงศ์พิวัฒน์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาท่าสันทานทานแรงค้ำและแรงบิดประลัยขององค์อาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ	นายเอนก ฉัตรเสถียร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วินิต ชอวิเชียร
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2522



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาพฤติกรรมของคานคอนกรีตภายใต้แรงบิด ซึ่งแยกออกเป็นคานคอนกรีตล้วนและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยคานคอนกรีตล้วนพิจารณาถึงผลของความต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่มีต่อมุมบิด และแรงบิดต้านทานประลัย ส่วนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ศึกษาถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น มุมบิด ความต้านทานแรงบิดประลัย การรับแรงของเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางเมื่อกำหนดระยะเรียงของเหล็กถูกต้องแล้วแปรค่าปริมาณเหล็กเสริมตามยาว นอกจากนี้ได้ทำการทดลองคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงค้ำ เพื่อหาพฤติกรรมทางคาน การโก่ง การถ่ายแรงระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต ตลอดจนความต้านทานแรงค้ำประลัยเมื่อองค์ความต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีตแล้วแปรค่าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงค้ำ พร้อมทั้งจัดหาวิธีการสำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงค้ำและภายใต้แรงบิดให้มีความสะดวกรวดเร็ว

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ปรากฏว่า ทฤษฎีโคอะโกนอล คอมเพรสชันฟิลด์ สามารถใช้คาดการณ์ทั้งความต้านทานแรงบิดประลัยและลักษณะการชำรุดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ดี ทฤษฎีสควิ เบนดิง ใช้คาดการณ์พฤติกรรมทั้งทางคานความต้านทานแรงบิดประลัยและมุมบิดประลัยของคานคอนกรีตล้วนได้ดีมาก แต่หากนำทฤษฎีนี้มาใช้กับคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงบิด จำต้องมีการปรับปรุงค่าบางค่าใน

การวิเคราะห์ เช่น กรณีที่เหล็กเสริมในทั้งสองทิศทางน้อยกว่าเหล็กเสริมในภาวะสมมูลย์  
 มาก ๆ ให้คำนึงถึงผลของคอนกรีตมีส่วนช่วยในการรับแรงบิด และในการหาปริมาณเหล็ก-  
 เสริมในแต่ละทิศทางให้คิดเทียบจากเนื้อที่ของคอนกรีตที่บรรจุอยู่ภายในดัดจากเหล็กเสริม  
 ตามยาวของคานคอนกรีตเข้าไป ส่วนทฤษฎีกำลังประลัยสามารถใช้คาดการณ์พฤติกรรมทาง  
 ความต้านทานแรงค้ำประลัยและลักษณะของการชำรุดได้ใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง

Thesis Title        A Study of Ultimate Strength of Flexural and  
                         Torsional Reinforced Concrete Members

Name                 Mr. Anek Chatsathien

Thesis Advisor     Associate Professor Vinit Chovichien, Ph.D

Department         Civil Engineering

Academic Year     1979

#### ABSTRACT

The investigation is to study the behavior of plain and reinforced concrete beams under torsion. In plain concrete, the effect of concrete strength to angle of twist and ultimate resisting torsion was considered. For reinforced concrete beams, various behaviors such as angle of twist, ultimate resisting torsion and the response of reinforcement in each direction with fixed spacing of stirrup but varied the amount of longitudinal bars were studied. Furthermore, reinforced concrete beams were tested under bending in order to study the behavior of deflection, force transition between reinforced steel and concrete and ultimate resisting moment with fixed concrete strength but varied the amount of tensile steel. The simple method for the design concerning reinforced concrete beam under bending and under torsion were presented.

When compare test results with theoretical values, the Diagonal Compression Field Theory shows a good prediction of reinforced concrete beams on both ultimate resisting torsion and

mode of failure. The Skew Bending Theory, on the other hand, shows very good prediction on ultimate resisting torsion and angle of twist of plain concrete beams. The latter, however, when applied to reinforced concrete beams under torsion some modifications are needed in the analysis. For example, when reinforcement is less than the balanced steel some torsions carried by concrete needed to be considered and the calculation of reinforced steel ratio must be based on the concrete core inside surrounded by the longitudinal bars. As regard to the ultimate strength theory, the theory can be used to predict the ultimate resisting moment and mode of failure of reinforced concrete beams under bending.



## กิติกรรมประกาศ

ในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์  
ดร. วิנית ช่อวิเชียร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ  
ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนจบ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. เอกสิทธิ์  
ลิ้มสุวรรณ ผศ.ดร. ทักฉิม เทพชาตรี ผศ.มานะ วงศ์พิวัฒน์ ที่กรุณาตรวจวิทยานิพนธ์  
ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

อนึ่ง ผู้เขียนขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและสมาคมนิสิตเก่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ที่ได้กรุณาให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยนี้ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อ เหล็กเสริม เครื่องมือทดสอบ ตลอดจนขอขอบคุณ  
ท.จ.ก. กำจรกิจที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับทราย หิน ปูนซีเมนต์ แบบไม้ และช่างฝีมือ  
ท้ายที่สุดขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้ มา ณ ที่นี้  
ด้วย

เอนก ฉัตรเสถียร



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . .	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . .	ฉ
กิตติกรรมประกาศ . . . . .	ช
รายการตารางประกอบ . . . . .	ญ
รายการรูปประกอบ . . . . .	ฎ



บทที่

1 บทนำ . . . . .	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา . . . . .	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย . . . . .	2
1.3 ขอบข่ายของการวิจัย . . . . .	3
2 เครื่องมือและวิธีที่ใช้ในการทดลอง . . . . .	5
2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง . . . . .	5
2.2 วิธีที่ใช้ในการทดลอง . . . . .	7
3 การทดลอง . . . . .	9
3.1 โครงการวิจัย . . . . .	9
3.2 วิธีการก่อสร้างคานคอนกรีตที่ใช้ทดลอง . . . . .	11
3.3 การทดลองการรับน้ำหนักของคาน . . . . .	12
4 การวิเคราะห์ทางทฤษฎี . . . . .	14
4.1 การวิจัยและวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว . . . . .	14
4.2 ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง . . . . .	27

บทที่	ญ หน้า
5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลอง	42
5.1 คานคอนกรีตภายใต้แรงบิด . . . . .	42
5.2 คานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงค้ำ . . . . .	51
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ . . . . .	55
6.1 สรุปผลการวิจัย . . . . .	55
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป . . . . .	57
เอกสารอ้างอิง . . . . .	58
ภาคผนวก	
ก สัญลักษณ์และนิยามของค่าต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค .	62
ข การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงค้ำ โดยอาศัย กราฟสำเร็จ . . . . .	67
ค การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงบิดประลัยโดย อาศัยกราฟสำเร็จ . . . . .	94
ประวัติผู้เขียน . . . . .	151

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของเหล็กเสริม . . . . .	103
2.2	กำลังต้านทานแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก . . . . .	104
3.1	ขนาดรูปตัด กำลังอัดประลัยของคานคอนกรีตล้วน ภายใต้ว แรงบิด . . . . .	105
3.2	ขนาดรูปตัดการเสริมเหล็กและกำลังอัดประลัยของคาน คอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้วแรงบิด . . . . .	105
3.3	ขนาดรูปตัด การเสริมเหล็ก และกำลังอัดประลัยของคาน คอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้วแรงบิด ซึ่งทดลองโดย Thomas Hsu . . . . .	106
3.4	ขนาดรูปตัดการเสริมเหล็กและกำลังอัดประลัยของคานคอนกรีต เสริมเหล็ก ภายใต้วแรงค้ำ . . . . .	107
5.1	สรุปผลการทดสอบของคานคอนกรีตล้วน . . . . .	108
5.2	การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์จาก ทฤษฎีสี่คว เบนดิง . . . . .	109
5.3	การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์จาก ทฤษฎีโคอะโกนอล คอมเพรสชั่น พีล . . . . .	110
5.4	การเปรียบเทียบผลการทดลองของ Hsu กับผลการ วิเคราะห์จากทฤษฎีสี่คว เบนดิง . . . . .	111
5.5	การเปรียบเทียบผลการทดลองของ Hsu กับผลการวิเคราะห์ จากทฤษฎีโคอะโกนอล คอมเพรสชั่น พีล . . . . .	112
5.6	การเปรียบเทียบแรงบิดแตกร้าวจากผลการทดสอบกับผลการ วิเคราะห์ . . . . .	113
5.7	การเปรียบเทียบผลการทดลองคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้วแรงค้ำกับผลการวิเคราะห์จากทฤษฎีกำลังประลัย . . . . .	114

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่

หน้า

2.1 เครื่องทดสอบหากล้างต้านทานแรงดึงของเหล็กเสริม  
(Amsler ขนาด 20 ตัน) . . . . . 115

2.2 เครื่องทดสอบหากล้างต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีต  
(Amsler ขนาด 100 ตัน) . . . . . 115

2.3 เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงบิดของคานคอนกรีต  
คานที่บิดแน่นอยู่กับที่ . . . . . 116

2.4 เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงบิดของคานคอนกรีต  
คานที่มีแรงจากแม่แรงน้ำมันกระทำ . . . . . 117

2.5 เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงบิดของคานคอนกรีต  
(ส่วนครอบปลายคาน) . . . . . 117

2.6 โครมฉากเบา . . . . . 118

2.7 เครื่องทดสอบคานคอนกรีตภายใต้แรงค้ำ . . . . . 118

3.1 การศึกษาจลจลความเครียดบนผิวของคานคอนกรีตล้วน  
ภายใต้แรงบิด . . . . . 119

3.2 (ก) ตำแหน่งการศึกษาจลจลความเครียดบนเหล็กเสริมของ  
คานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงบิด . . . . . 119

3.2 (ข) ตำแหน่งการศึกษาจลจลความเครียดบนเหล็กค้ำทั้ง ( s )  
และเหล็กเสริมตามยาว ( L ) ของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก  
ภายใต้แรงบิด . . . . . 120

3.3 มิตินของเหล็กค้ำทั้งในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงบิด . . . . . 120

3.4 ขนาดรูปตัดและความยาวของคานคอนกรีตล้วน ภายใต้แรงบิด . . . . . 121

3.5 การวางเหล็กเสริมลงในแบบไม้ . . . . . 122

3.6	เครื่องทดสอบหาคุณสมบัติทางค้ำรับแรงบิดของคานคอนกรีต . . . . .	122
3.7	เครื่องทดสอบและลักษณะแตกร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงค้ำ . . . . .	123
4.1	ลักษณะแตกร้าวและแรงต่าง ๆ บนระนาบของการชำรุด . . . . .	124
4.2	แรงต่าง ๆ บนรูปค้ำของคานคอนกรีต . . . . .	124
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการบิดตัวของ เหล็กเสริม . . . . .	124
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต . . . . .	125
4.5	แสดง (ก) ลักษณะการแตกร้าว (ข) รูปค้ำ (ค) หน่วยแรง ที่กระทำต่อชิ้นส่วน A . . . . .	125
4.6	แสดง (ก) แรงต่าง ๆ บนระนาบของการชำรุด (ข) ความ เครียดของคอนกรีต . . . . .	125
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างมุม $\beta$ กับมุม $\theta$ . . . . .	126
4.8	แสดง (ก) ลักษณะการแตกร้าวที่ความลึก d (ข) Mohr's Circle . . . . .	126
4.9	แสดง (ก) ลักษณะการแตกร้าวและแรงต่าง ๆ ที่กระทำ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดในแนวทแยงกับแรงเฉือน ไหล (ค) รายละเอียดที่มุมของคานคอนกรีต . . . . .	127
4.10	แสดง (ก) ลักษณะคานคอนกรีตเมื่อรับแรงบิด (ข) ชิ้นส่วน ผนังของคอนกรีต (ค) Mohr's Circle . . . . .	127
4.11	แสดง (ก) เส้นทางของแรงเฉือน (ข) หน่วยแรงหน่วย การหดตัว (ค) ความสัมพันธ์ของ $\epsilon_{ds}$ และ $\epsilon'_d$ . . . . .	128

4.12	แสดง (ก) รูปตัด (ข) ความเครียด (ค) หน่วยแรง อัตราที่เกิดขึ้นจริง (ง) สี่เหลี่ยมแทนหน่วยแรงที่เกิดขึ้น . . . . .	128
5. a	รูปภาคตัดขวางของคาน $B_8$ . . . . .	129
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของคาน $B_0, B_4$ $B_9, B_{11}$ . . . . .	130
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดหักของคอนกรีต ของคาน $B_0, B_4, B_9, B_{11}$ . . . . .	131
5.3	(ก) แสดงลักษณะการขรุขระของคาน $B_4$ . . . . .	131
5.3	(ข) แสดงลักษณะการขรุขระของคาน $B_9$ . . . . .	131
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของคาน $B_1, B_2$ . . . . .	132
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของคาน $B_6, B_7, B_8$ . . . . .	133
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของคาน $B_{10}, B_{12}, B_{13}$ . . . . .	134
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดตัวของเหล็ก แกน ของคาน $B_1, B_2$ . . . . .	135
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดตัวของเหล็ก แกน ของคาน $B_6, B_7, B_8$ . . . . .	135
5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดตัวของเหล็ก แกน ของคาน $B_{10}, B_{12}, B_{13}$ . . . . .	136
5.10	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดตัวของเหล็ก ลูกตั้งคานยาว ของคาน $B_1, B_2$ . . . . .	137
5.10	(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดตัวของเหล็ก ลูกตั้งคานสั้น ของคาน $B_1, B_2$ . . . . .	138
5.11	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการบิดตัวของเหล็ก ลูกตั้งคานยาว ของคาน $B_6, B_7, B_8$ . . . . .	139

5.11 (ข)	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็ก ลูกตั้งคานสั้น ของคาน B <sub>6</sub> , B <sub>7</sub> , B <sub>8</sub> . . . . .	140
5.12 (ก)	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็ก ลูกตั้งคานยาว ของคาน B <sub>10</sub> , B <sub>12</sub> , B <sub>13</sub> . . . . .	141
5.12 (ข)	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็ก ลูกตั้งคานสั้นของคาน B <sub>10</sub> , B <sub>12</sub> , B <sub>13</sub> . . . . .	142
5.13	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>2</sub> . . . . .	143
5.14	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>3</sub> . . . . .	143
5.15	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>6</sub> . . . . .	144
5.16	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>7</sub> . . . . .	144
5.17	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>8</sub> . . . . .	145
5.18	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>10</sub> . . . . .	145
5.19	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>12</sub> . . . . .	146
5.20	แสดงลักษณะการแตกกร้าวของคาน B <sub>13</sub> . . . . .	146
5.21	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงค้ำและมุมเปลี่ยนของคาน B <sub>15</sub> , B <sub>16</sub> B <sub>17</sub> . . . . .	147
5.22	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะโก่งของคาน B <sub>15</sub> , B <sub>16</sub> , B <sub>17</sub> . . . . .	147
5.23	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและหน่วยการยึดตัวของ เหล็ก ของคาน B <sub>15</sub> , B <sub>16</sub> , B <sub>17</sub> . . . . .	148
5.24	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและหน่วยการหดตัวของ คอนกรีต ของคาน B <sub>15</sub> , B <sub>16</sub> , B <sub>17</sub> . . . . .	148
5.25	แสดงลักษณะการแตกกร้าวทางคานหน้าและหลัง ของคาน B <sub>14</sub> . . . . .	149

รูปที่

ฉ

หน้า

5.26	แสดงลักษณะการแตกร้าวทางคานหน้าและหลังของคาน B <sub>15</sub>	149
5.27	แสดงลักษณะการแตกร้าวทางคานหน้าและหลังของคาน B <sub>16</sub>	150
5.28	แสดงลักษณะการแตกร้าวทางคานหน้าและหลังของคาน B <sub>17</sub>	150