

กำลังของสลักแรงเนียนคอนกรีตฉนวนเมื่อมีแรงโอบรัด

นายกำธร เจนสุกเสรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 633 - 749 - 1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Strength of A Plain Concrete Shear Key With Lateral Confinement.

Mr.Kumtorn Janesupaere

**A Thesis Submitted in Partail Fulfillment of the Requiremnts
for the Degree of Master of Engineering**

Department of civil Engineering

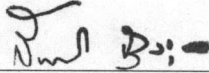
Graduate School

Chulalongkorn University

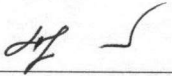
1996

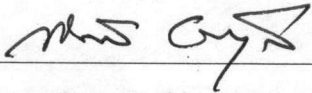
หัวข้อวิทยานิพนธ์ กำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้นวนเมื่อมีแรงไอบรัด
โดย นายกำธร เจนศุภเสรี
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติรี


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสูวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


_____ ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)


_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติรี)


_____ กรรมการ
(ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

กัษร เจนศุภเสรี : กำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนเมื่อมีแรงโอบรัด (STRENGTH OF A PLAIN CONCRETE SHEAR KEY WITH LATERAL CONFINEMENT) อ. ศึกษาศาสตร์ : ศ. ดร. ทักษิณ เทพชาตรี, 154 หน้า. ISBN 974-663-749-1

รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป จำเป็นต้องได้รับการระมัดระวังในการออกแบบและก่อสร้าง รอยต่อเหล่านี้เป็นจุดที่เกิดความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างในขณะที่รอยต่อเหล่านี้จะต้องสามารถถ่ายเทแรงกระทำภายนอกจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปหนึ่งไปยังชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เหลือในรอยต่อ เพื่อให้โครงสร้างทั้งหมดสามารถต้านทานแรงกระทำภายนอกได้อย่างปลอดภัยและสอดคล้องกับการออกแบบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา กำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน ซึ่งนิยมใช้ในรอยต่อของโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป ตัวแปรที่ทำการศึกษประกอบด้วย กำลังอัดประลัยของคอนกรีต และแรงโอบรัดด้านข้างที่กระทำที่จุดศูนย์กลางของสลักแรงเฉือนคอนกรีต โดยทำการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างที่มีและไม่มีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน จำนวน 36 ชิ้นตัวอย่าง ในตัวอย่างที่รอยต่อมีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนจะประกอบด้วยสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนจำนวน 1 อัน แทนสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนในชุดของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน ที่ใช้ในโครงสร้างจริง จากผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตและระดับแรงโอบรัดด้านข้างที่สูงขึ้นมีผลให้กำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการพังทลายของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนจากแรงเฉือนเป็นลักษณะเปราะและทันทีทันใด งานวิจัยยังได้เสนอสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตและแรงโอบรัดด้านข้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C515130 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: : SHEAR KEY/SHEAR STRENGTH/COMPRESSIVE STRENGTH/LATERAL CONFINEMENT

KUMTORN JANESUPASAEREE : STRENGTH OF A PLAIN CONCRETE SHEAR KEY WITH LATERAL CONFINEMENT. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D.

154 pp. ISBN 974-663-749-1

Joints between precast concrete elements require special attentions in design and construction. These joints introduce discontinuities in the structure ; meanwhile they must safely transmit loads from one element to the others.

This research studies the strength of plain concrete shear key which is usually used in the connection of precast concrete structures. Parameters studied included the strength of concrete and the level of lateral confinement acts at the center of plain concrete shear key. Tests carried out on two groups of specimen, ie., with and without plain concrete shear key. For specimens with plain concrete shear key, the single key which represents one of the multiple plain concrete shear keys in the actual structures is used. It has been found that the increase of concrete strength and the higher of level of confinement will increase the strength of plain concrete shear key. However the shear failure of plain concrete shear key is sudden and brittle. Finally a formular is proposed in attempt to relate the strength of plain concrete shear key with concrete strength and the level of lateral confinement.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา..... 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *กมล งาม*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *ทศพร งาม*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาตลอดจนความรู้ และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์และขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมารดา ที่ให้กำลังใจแก่ผู้เขียนตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ครู และ อาจารย์ ทุกคนที่ได้อบรม และ สั่งสอนความรู้ต่างๆ แก่ผู้เขียนตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน

นายกำธร เจนศุภเสวี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	5
2. ทฤษฎี.....	7
2.1 วัสดุ และ แบบจำลองคุณสมบัติหลัก.....	7
2.2 กำลังการถ่ายเทแรงเฉือนโดยวิธี Rotating Smearred Crack Band Model.....	9
2.3 กำลังการถ่ายเทแรงเฉือนโดยวิธี Bakhoum.....	13
3. การทดสอบ และ ผลการทดสอบ.....	14
3.1 รายการทดสอบ.....	14
3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	15
3.2.1 วัสดุทดสอบ.....	15
3.2.2 แบบหล่อคอนกรีต และ การเสริมเหล็ก.....	16
3.2.3 การหล่อ และ การป่มตัวอย่างทดสอบ.....	16
3.3 วิธีการทดสอบ.....	16
3.3.1 การเตรียมเพื่อการทดสอบ.....	16

3.3.2 การทดสอบ.....	18
3.4 ผลการทดสอบ.....	18
3.4.1 ผลการทดสอบตัวอย่างกลุ่มไม่มีสลักคอนกรีตล้วน.....	18
3.4.2 ผลการทดสอบตัวอย่างกลุ่มสลักคอนกรีตล้วน.....	19
3.4.2.1 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K1A	20
3.4.2.2 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K1B	21
3.4.2.3 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K1C	21
3.4.2.4 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K2A	22
3.4.2.5 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K2B	23
3.4.2.6 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K2C	23
3.4.2.7 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K3A	24
3.4.2.8 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K3B	24
3.4.2.9 ผลการทดสอบตัวอย่างในชุด K3C	25
4. การวิเคราะห์ และ การเปรียบเทียบผลการทดสอบ.....	26
4.1 พฤติกรรมการรับแรงเฉือน และ กำลังการรับแรงเฉือนของชิ้นตัวอย่าง.....	26
4.1.1 ตัวอย่างกลุ่มไม่มีสลักคอนกรีตล้วน.....	26
4.1.2 ตัวอย่างกลุ่มสลักคอนกรีตล้วน.....	28
4.1.2.1 ตัวอย่างในชุด K1A	28
4.1.2.2 ตัวอย่างในชุด K1B	29
4.1.2.3 ตัวอย่างในชุด K1C	30
4.1.2.4 ตัวอย่างในชุด K2A	31
4.1.2.5 ตัวอย่างในชุด K2B.....	32
4.1.2.6 ตัวอย่างในชุด K2C	33
4.1.2.7 ตัวอย่างในชุด K3A	34
4.1.2.8 ตัวอย่างในชุด K3B	35
4.1.2.9 ตัวอย่างในชุด K3C	36
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีต และ กำลังรับแรงเฉือน.....	36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงโอบรัดด้านข้าง และ กำลังรับแรงเฉือน.....	37
4.4 เปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากวิธี Rotating Smearred Crack Band Model....	39
4.5 เปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากวิธี Bakhoun.....	40

4.6 สูตรกำลังของสลักแรงเฉือนจากการทดสอบ.....	40
4.7 กำลังรับแรงเฉือนของสลักคอนกรีตล้วนโดย CEB - FIP.....	41
5. สรุปผลการวิจัย.....	42
รายการอ้างอิง.....	43
รายการตารางประกอบ.....	44
รายการรูปประกอบ.....	55
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณวิธี RSCB.....	77
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณแรงเสียดทาน.....	79
ภาคผนวก ค. การคำนวณกำลังรับแรงเฉือนจากผลการทดสอบ โดยวิธี Linear regression theory.....	81
ตารางภาคผนวก ก.....	82
ตารางภาคผนวก ข.....	94
ตารางภาคผนวก ค.....	103
รูปภาคผนวก ก.....	151
ประวัติของผู้เขียน.....	154

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ.....	44
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบตัวอย่างในกลุ่มไม่มีสลักแรงเจือปนคอนกรีตล้วน.....	45
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบตัวอย่างในกลุ่มสลักแรงเจือปนคอนกรีตล้วน.....	46
ตารางที่ 4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน. ตัวอย่างกลุ่มไม่มีสลักแรงเจือปนคอนกรีต.....	47
ตารางที่ 4.2 ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดจากการทดสอบตัวอย่างกลุ่มสลักคอนกรีตล้วน ชุดกำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 428 กก./ ซม. ²	48
ตารางที่ 4.3 ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดจากการทดสอบตัวอย่างกลุ่มสลักคอนกรีตล้วน ชุดกำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 473 กก./ ซม. ²	49
ตารางที่ 4.4 ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดจากการทดสอบตัวอย่างกลุ่มสลักคอนกรีตล้วน ชุดกำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 541 กก./ ซม. ²	50
ตารางที่ 4.5 ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดจากการทดสอบ และการเปรียบเทียบ.....	51
ตารางที่ 4.6 ตารางการแสดงผลการคำนวณกำลังรับแรงเฉือนประลัย โดยวิธี Rotating Smearred Crack Band Model.....	52
ตารางที่ 4.7 ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัย ตัวอย่างกลุ่มแรงโอบรัดเท่ากับ 6.77 กก./ซม. ²	53
ตารางที่ 4.8 ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัย ตัวอย่างกลุ่มแรงโอบรัดเท่ากับ 13.54 กก./ซม. ²	53
ตารางที่ 4.9 ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัย ตัวอย่างกลุ่มแรงโอบรัดเท่ากับ 27.08 กก./ซม. ²	54
ตารางที่ 4.10 ค่ามุมเอียงของรอยร้าวแทงจากวงกลมของมอหรี.....	54

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ลักษณะของสลักคอนกรีตที่ใช้ในโครงสร้างสะพานหล่อสำเร็จรูป.....	55
รูปที่ 1.2 ลักษณะรูปแบบการพังทลายที่เกิดขึ้นในสลักแรงเฉือนคอนกรีต.....	55
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัด และ ความเครียดคอนกรีต.....	56
รูปที่ 2.2 พังกั้นชั้นของหน่วยแรงอัด และ ความเครียดของคอนกรีตภายใต้แรงอัดแกนเดียว.....	56
รูปที่ 2.3 การทดลองกดคอนกรีตตามแนวยาว (Split Tensile Test).....	57
รูปที่ 2.4 ลักษณะของน้ำหนักระทำที่มีผลให้เกิดแรงเฉือนล้น.....	57
รูปที่ 2.5 Rotating Smearred Crack Band Model.....	58
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรง และ ความเครียดคอนกรีต.....	59
รูปที่ 3.1 แสดงมิติของตัวอย่างทดสอบในกรณีที่ไม่มีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้น.....	60
รูปที่ 3.2 แสดงมิติของตัวอย่างทดสอบในกรณีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้น.....	61
รูปที่ 3.3 แสดงการจัดตัวอย่างทดสอบ.....	62
รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดเหล็กเสริมในชั้นตัวอย่าง.....	63
รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการบันทึกค่าในการทดสอบ.....	64
รูปที่ 3.6 ลักษณะการเกิดรอยร้าวในชั้นตัวอย่างทดสอบ.....	65
รูปที่ 3.7 ลักษณะของการพังทลายของชั้นตัวอย่างทดสอบ.....	66
รูปที่ 3.8 ลำดับชั้นการเกิดรอยร้าวในชั้นตัวอย่าง.....	66
รูปที่ 3.9 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบก่อน และ หลังการทดสอบ.....	67
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน และ การเคลื่อนที่ของชั้นตัวอย่าง. แบบไม่มีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้น.....	68
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน และ การเคลื่อนที่ของชั้นตัวอย่าง. แบบมีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้น. , กำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 428 กก./ซม ² ..	69
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน และ การเคลื่อนที่ของชั้นตัวอย่าง. แบบมีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้น. , กำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 473 กก./ซม ² ...	70
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน และ การเคลื่อนที่ของชั้นตัวอย่าง. แบบมีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้น. , กำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 541 กก./ซม ² ...	71
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธี RSCB. และ วิธี Bakhoum.....	72
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน และ การโอบรัด.....	73

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบสมการกำลังการรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ และ วิธี Bakhoum..	74
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือน และ รากที่ 2 ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต..	75
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือน และแรงโอบรัดด้านข้าง.....	75
รูปที่ 4.9 การแสดงลักษณะของระนาบการพังทลายด้วยวงกลมของมอห์ร์.....	76

คำอธิบายสัญลักษณ์

α	=	มุมเอียงของเหล็กเสริมที่กระทำผ่านหน้าตัดที่รับแรงเฉือน
B	=	พื้นที่ของสลักแรงเฉือน (Ref. (6))
E_c	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
f_c	=	หน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่ระดับใดๆ
f_c'	=	กำลังอัดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก
f_t	=	กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต
G_f	=	ค่าพลังงานแห่งการแตกร้าวของคอนกรีต
h	=	ความกว้างของพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมด้วยรอยแตกร้าวทแยง ในทิศทางตั้งฉากกับแนวรับแรงเฉือน
ε	=	ความเครียดอัดของคอนกรีตที่ระดับใดๆ
ε_0	=	ความเครียดอัดที่ตำแหน่ง f_c'
ε_t	=	ความเครียดดึงของคอนกรีต
ε_{cr}	=	ความเครียดแห่งการแตกร้าวของคอนกรีต
$\varepsilon_{tu1}, \varepsilon_{tu2}$	=	ความเครียดลักษณะพิเศษหลังการแตกร้าวของคอนกรีต
ε_{c1}	=	ความเครียดของคอนกรีต ที่ $0.85 f_c'$
ε_{c2}	=	ความเครียดของคอนกรีต ที่ f_c'
σ_c	=	หน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าวทแยง ในทิศทางของรอยร้าว
σ_t	=	หน่วยแรงดึงในคอนกรีตที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าวทแยง ในทิศทางตั้งฉากกับรอยร้าว
θ	=	มุมเอียงของร้าวทแยงที่ทำมุมกับหน้าตัดรับแรงเฉือน
σ_p	=	หน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง
τ	=	หน่วยแรงเฉือน
τ_{test}	=	หน่วยแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนจากการทดสอบ
τ_{cal}	=	หน่วยแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนจากการคำนวณ
v_a	=	ค่าอัตราส่วนปัวซองของเรโซปรากฏของคอนกรีต
μ	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน