

การศึกษากำลังรับแรงเดือนของแผ่นพื้นไร้คานที่มีช่องเปิดเสริมด้วยหมุดรับแรงเดือน

นายสมพร หนองฝื่อ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-346-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17273262

Study of Shear Strength in Flat Plates with Openings Reinforced by Shear Stud

Mr.Somporn Nongphaue

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

1996

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นพื้นไร้คานที่มีช่องเปิดเสริมด้วยหมุดรับแรงเฉือน

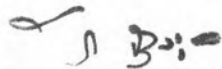
โดย                              นายสมพร    หนองผือ

ภาควิชา                        วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา        ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

---

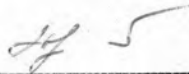
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



\_\_\_\_\_ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

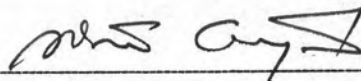
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฤงสูวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



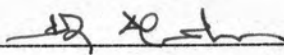
\_\_\_\_\_ ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ คุ้มสุวรรณ)



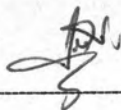
\_\_\_\_\_ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)



\_\_\_\_\_ กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร)



\_\_\_\_\_ กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)



สมพร หนองผือ : การศึกษากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นพื้น ไร้คานที่มีช่องเปิดเสริมด้วยหมุดรับแรงเฉือน (STUDY OF SHEAR STRENGTH IN FLAT PLATES WITH OPENINGS REINFORCED BY SHEAR STUD) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาติรี , 91 หน้า. ISBN 974-633-346-1

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นพื้น ไร้คานที่มีช่องเปิดเสริมด้วยหมุดรับแรงเฉือน การทดสอบกระทำบนแผ่นพื้นบริเวณจุดต่อภายในของเสาและพื้น โดยมีช่องเปิดรอบหัวเสา ในลักษณะที่สมมาตรและนำหมุดรับแรงเฉือนมาจัดวางรอบหัวเสาในลักษณะที่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาพบว่า หมุดรับแรงเฉือนสามารถใช้เป็นเหล็กเสริมรับแรงเฉือนและสามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของจุดต่อพื้นและเสาได้ การจัดวางหมุดรับแรงเฉือนรอบหัวเสาและช่องเปิดควรจัดให้มีลักษณะที่สมมาตรรอบหัวเสา และควรจัดให้มีเส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤตรอบเหล็กเสริมรับแรงเฉือนตัวนอกสุดให้มากที่สุด

การทดสอบในแผ่นพื้นที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน พบว่าความชันของแนวแตกร้าว ณ จุดวิบัติจะทำมุมประมาณ  $25^\circ$  กับแนวราบ ส่วนในแผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กเสริมรับแรงเฉือนความชันของแนวแตกร้าวในบริเวณที่เสริมด้วยหมุดรับแรงเฉือนจะทำมุมประมาณ  $30^\circ - 45^\circ$  และเกิดการวิบัติที่บริเวณรอบนอกเหล็กเสริมรับแรงเฉือน โดยที่มีมุมของแนวแตกร้าวประมาณ  $25^\circ$

นอกจากนี้ยังพบว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ระยะ  $d/2$  จากขอบเสาจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $2.245\sqrt{f_c'}$  ถึง  $2.290\sqrt{f_c'}$  ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับหน่วยแรงเฉือนที่เสนอโดย A.Ghali'

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา ..... 2538

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

C515289 CIVIL ENGINEERING  
## KEY WORD: MAJOR SHEAR STUDS/SLAB-COLUMN CONNECTION/PUNCHING  
SOMPORN NONGPHAUE : STUDY OF SHEAR STRENGTH IN  
FLAT PLATES WITH OPENINGS REINFORCED BY SHEAR  
STUD. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI,  
Ph.d. 91 pp. ISBN: 974-633-346-1

The purpose of this research is to study the shear strength of flat plates with openings reinforced by shear studs. Test model simulates an interior slab-column connection with symmetrical opening around column head. Two different arrangements of shear studs around column are considered.

Test results show that the studs can be used as shear reinforcement around the slab-column connection. The effective arrangement of shear studs will be the one having symmetrical shape with maximum perimeter around the column. In slab without shear reinforcement the angle of crack lines at ultimate load is approximately  $25^\circ$ . In slab with shear reinforcement, on the other hand, the punching failure occurs outside shear reinforcement zone with the angle of crack lines  $25^\circ$ . However, diagonal cracks in shear reinforcement zone is about  $30^\circ-45^\circ$ .

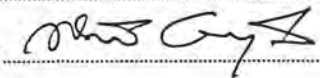
Besides, it is found from tests that nominal shearing strength at distance  $d/2$  from column face is between  $2.245\sqrt{f'_c}$  and  $2.290\sqrt{f'_c}$ , which is in closed agreement with that proposed by A. Ghali.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา.....2538.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

### กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาตลอดจนความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณและอาจารย์ ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคุณชววิช มีประเสริฐสกุล ที่ได้ให้ความกรุณาต่อผู้เขียน ขอขอบพระคุณคุณชลิช เซยพันธ์และเจ้าหน้าที่ของห้องทดสอบวัสดุของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย รวมทั้งคุณปิยะ พูลสวัสดิ์ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ Prof.Dr.Amin Ghali แห่ง The University of Calgary ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งคุณ ชาติชาย กาญจนบุรณท์ที่ได้กรุณาจัดหาวัสดุสำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณเกรียงไกร สุนทรธรรมวาทิ ที่ได้ให้โอกาส และเพื่อนร่วมงานบริษัท เอ็นจิเนียริง ซิสเต็ม คอนซัลแตนท์ จำกัดที่ได้ให้กำลังใจมาตลอด

ท้ายสุดที่สำคัญผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้ความสำคัญและให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นายสมพร หนองฝื่อ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ฒ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
3. การดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 แบบจำลองและการเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	14
3.2 คุณสมบัติของวัสดุ.....	15
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและวิธีการทดสอบ.....	16
4. ผลการดำเนินการวิจัยและสรุปผล.....	18
4.1 ลักษณะการแตกร้าว.....	18
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว.....	18
4.3 ความเครียดที่เกิดขึ้นในหมุดรับแรงเฉือน.....	19
4.4 กำลังประลัยของตัวอย่างทดสอบ.....	20
4.5 รูปแบบการวิบัติ.....	21
4.6 กลไกการถ่ายแรงเฉือน.....	21
4.7 การเปรียบเทียบกำลังแรงกดประลัยและค่าที่ได้จากการทำนาย.....	22

5.สรุปผลการวิจัย.....	25
5.1สรุปผล.....	25
5.2ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	26
รายการอ้างอิง.....	27
ตาราง.....	29
รูปภาพ.....	34
ภาคผนวก.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	91



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่1แสดงแรงกระทำค่อชิ้นส่วนเล็กๆ.....	34
รูปที่2การเสียรูปของแผ่นพื้น.....	34
รูปที่3แสดงส่วนประกอบของแรงเฉือนในแผ่นพื้น.....	35
รูปที่4กำลังและการบิดของคอนกรีตภายใต้หน่วยแรงอัดสองแกน.....	36
รูปที่5กราฟแสดงหน่วยแรงและความเครียดในแนวแกนจากการทดสอบแรงอัดสามแกนของคอนกรีตรูปทรงกระบอก( $f_c' = 3600 \text{ psi}$ ).....	37
รูปที่6Mohr rupture envelope จากการทดสอบตามรูปที่ 5.....	37
รูปที่7กลไกการถ่ายแรงเฉือนในแผ่นพื้นที่เสริมด้วยหมุ่รับแรงเฉือน.....	38
รูปที่8เส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤตและการเอียงศูนย์กลางของสมการ 2.25และ2.26.....	38
รูปที่9 แสดงมิติของตัวอย่างทดสอบ.....	39
รูปที่10 แสดงรายละเอียดทั่วไปของเหล็กเสริมรับ โมเมนต์ค้ดของตัวอย่าง.....	40
รูปที่ 11 การจัดตัวอย่างทดสอบ.....	41
รูปที่12รายละเอียดทั่วไปของหมุ่รับแรงเฉือนที่เสนอโดย A.Ghaliและคณะ.....	42
รูปที่13รายละเอียดของหมุ่รับแรงเฉือนที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	42
รูปที่14การจัดวางหมุ่รับแรงเฉือนในตัวอย่าง S2.....	43
รูปที่15การจัดวางหมุ่รับแรงเฉือนในตัวอย่าง S3.....	44
รูปที่16การจัดเตรียมหล่อตัวอย่าง.....	45
รูปที่17การจัดเตรียมตัวอย่างและอุปกรณ์ทดสอบ.....	45
รูปที่18 ตัวอย่าง S1 ภายหลังแรงกดประลัย.....	46
รูปที่19ตัวอย่าง S2 ภายหลังแรงกดประลัย.....	46
รูปที่20ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่าง S1 ที่แรงกดประลัย.....	47
รูปที่21ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่าง S2 ที่แรงกดประลัย.....	48
รูปที่22 ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่าง S3 ที่แรงกดประลัย.....	49
รูปที่23หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในหมุ่รับแรงเฉือนที่แรงกดประลัยโดยคิดเป็นอัตราส่วนต่อหน่วยแรงที่จุดกลางของหมุ่รับแรงเฉือน.....	50
รูปที่24กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการแ่นตัวที่กึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ.....	51

รูปที่25กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความเครียดในหมุดแถบ a.....	52
รูปที่26กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความเครียดในหมุดแถบ b.....	53
รูปที่27กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความเครียดในหมุดแถบ c.....	54
รูปที่28กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความเครียดในหมุดแถบ d.....	55
รูปที่29กราฟแสดงแรงที่เกิดขึ้นในหมุดรับแรงเฉือนของตัวอย่าง S2.....	56
รูปที่30กราฟแสดงแรงที่เกิดขึ้นในหมุดรับแรงเฉือนของตัวอย่าง S3 .....	57
รูปที่31กราฟแสดงความเครียดในหมุดรับแรงเฉือนและระยะห่างจากขอบเสาของหมุดแถบ a.....	58
รูปที่32กราฟแสดงความเครียดในหมุดรับแรงเฉือนและระยะห่างจากขอบเสาของหมุดแถบ b.....	59
รูปที่33กราฟแสดงความเครียดในหมุดรับแรงเฉือนและระยะห่างจากขอบเสาของหมุดแถบ c.....	60
รูปที่34กราฟแสดงความเครียดในหมุดรับแรงเฉือนและระยะห่างจากขอบเสาของหมุดแถบ d.....	61
รูปที่35รูปแสดงผิวการพังเนื่องจากการเฉือนทะลุที่แรงกดประลัยของตัวอย่างทดสอบ.....	62
รูปที่36รูปตัดแสดงหน้าตัดที่เป็นไปได้ที่อาจจะพังเนื่องจากการเฉือนทะลุ.....	63

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ.....	29
ตารางที่ 2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ .....	29
ตารางที่ 3 รายละเอียดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน.....	30
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ.....	30
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบกำลังประลัยกับวิธีการคำนวณตามสมการของA.Ghaliและคณะ.....	31
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบกำลังประลัยกับวิธีการคำนวณตามหัวข้อ11.12.3.2ของACI318-95.....	32
ตารางที่ 7 ตัวอย่าง S2 การคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนในหน้าตัดที่พิจารณาตามสมการของ A.Ghali และคณะ.....	32
ตารางที่ 8 ตัวอย่าง S3 การคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนในหน้าตัดที่พิจารณาตามสมการของ A.Ghali และคณะ.....	33

### คำอธิบายสัญลักษณ์

- $b$  = ความยาวของจตุรกรงรับของแผ่นพื้น  
 $b_0$  = ความยาวของเส้นรอบรูปที่หน้าตัดวิกฤติ  
 $c$  = ความกว้างของเสา  
 $D$  = ความแกร่งต่อการคดของแผ่นพื้น  
 $d$  = ความลึกประสิทธิภาพ  
 $E$  = โมดูลัสความยืดหยุ่น  
 $f_c'$  = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต  
 $f_y$  = กำลังแรงดึงที่จุดกลางของเหล็กเสริมรับโมเมนต์คด  
 $f_{ys}$  = กำลังแรงดึงที่จุดกลางของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน  
 $M_x, M_y$  = โมเมนต์คดต่อหน่วยความยาวบนระนาบ  $x$  และ  $y$   
 $M_{xy}, M_{yx}$  = โมเมนต์บิดต่อหน่วยความยาวบนระนาบ  $x$  และ  $y$   
 $m$  = กำลังต้านทานต่อการคดประลัยต่อความกว้างหนึ่งหน่วยของแผ่นพื้น  
 $q$  = น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อหน่วยพื้นที่  
 $s_0$  = ระยะห่างของหมุดรับแรงเฉือนตัวแรกกับขอบเสา  
 $s$  = ระยะระหว่างหมุดรับแรงเฉือนในแถบเดียวกัน  
 $V_{AC1}$  = กำลังแรงเฉือนประลัยของแผ่นพื้น โดยไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน  
 คำนวณตามสมการก.9.1 ถึง ก.9.3  
 $V_{AC11}$  = กำลังแรงเฉือนประลัยของแผ่นพื้นและหน้าตัดวิกฤติเกิดขึ้นที่  
 ระยะ  $d/2$  จากหมุดรับแรงเฉือนตัวนอกสุด  $= 0.53 \sqrt{f_c'} b_0 d$   
 $V_{AC12}$  = กำลังแรงเฉือนประลัยของแผ่นพื้น คำนวณตามสมการ ก.4  
 $V_{AC13} = 1.591 \sqrt{f_c'} b_0 d$   
 $V_{AG}$  = กำลังแรงเฉือนประลัยของแผ่นพื้น โดยไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน  
 คำนวณตามสมการ ก.3  
 $V_{AG1}$  = กำลังแรงเฉือนประลัย คำนวณตามสมการ ก.3 และหน้าตัด  
 วิกฤติเกิดขึ้นที่ระยะ  $d/2$  จากหมุดรับแรงเฉือนตัวนอกสุด  
 $V_{AG2}$  = กำลังแรงเฉือนประลัย คำนวณตามสมการ ก.4  
 $V_{AG3} = 2.121 \sqrt{f_c'} b_0 d$   
 $V_{calc}$  = ค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง  $V_{AC11}$ ,  $V_{AC12}$  และ  $V_{AC13}$  หรือ  $V_{AG1}$ ,  $V_{AG2}$  และ  $V_{AG3}$   
 $V_{crit}$  = แรงกดที่ทำให้เริ่มเกิดการแตกร้าวในแนวสัมผัส

- $V_{crf}$  = แรงกดที่ทำให้เริ่มเกิดการแตกร้าวในแนวรัศมี  
 $V_{crd}$  = แรงกดที่ทำให้เริ่มเกิดการแตกร้าวในแนวทะแยง  
 $V_{flex}$  = แรงกดประลัยเนื่องจากการคด  
 $V_n, V_t$  = แรงเฉือนต่อหน่วยความยาวบนระนาบ  $n$  และ  $t$   
 $V_o$  = แรงเฉือนหลักต่อหน่วยความยาว  
 $v_c$  = หน่วยแรงเฉือนประลัยของคอนกรีต  
 $V_c$  = แรงเฉือนประลัยของคอนกรีต  
 $V_{test}$  = แรงกดประลัยของตัวอย่างทดสอบ  
 $V_x, V_y$  = แรงเฉือนต่อหน่วยความยาวบนระนาบ  $x$  และ  $y$   
 $\beta_c$  = อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา  
 $\alpha$  = อัตราส่วนของระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤตกับขอบเสาต่อความลึกประสิทธิผล  
 $\delta_u$  = การแอ่นตัวสูงสุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้นที่แรงกดประลัย  
 $\epsilon_x, \epsilon_y$  = ความเครียดตั้งฉากในทิศทางแกน  $x$  และ  $y$   
 $\gamma_{xy}$  = ความเครียดเฉือน  
 $\sigma_x, \sigma_y$  = ความเค้นตั้งฉากในทิศทางแกน  $x$  และ  $y$   
 $\tau_{xy}$  = ความเค้นเฉือน  
 $u, v, w$  = การเปลี่ยนตำแหน่งในทิศทาง  $x, y$  และ  $z$   
 $\nu$  = Poisson's ratio  
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  = หน่วยแรงหลัก  
 $\phi$  = มุมหมุนของแกนอ้างอิง  
 $\phi_o$  = มุมแสดงทิศทางแรงเฉือนหลัก