

พฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร

นายวรพงษ์ จินข้าง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-234-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**BEHAVIOR OF REINFORCING STEEL SUBJECTED TO CYCLIC LOADING**

**Mr. Woraphong Jinchang**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering**

**Department of Civil Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

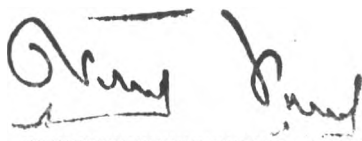
**Academic Year 1998**

**ISBN 974-332-234-5**

หัวข้อวิทยานิพนธ์      พฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร  
โดย                              นายวรพงษ์ จินข้าง  
ภาควิชา                            วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




..... ประธานกรรมการ

( ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ )



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ )



..... กรรมการ

( อาจารย์ ดร. วีรพงศ์ เสนจันทร์ฉวีไชย )

วรพงษ์ จินข้าง : พฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร (BEHAVIOR OF REINFORCING STEEL SUBJECTED TO CYCLIC LOADING) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ , 97 หน้า. ISBN 974-332-234-5.

ในงานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของเหล็กเสริมต่อการรับแรงกระทำในแนวแกนแบบเป็นวัฏจักร โดยทำการทดสอบตัวอย่างเหล็กเสริม ชั้นคุณภาพ SD30 และชั้นคุณภาพ SD40 ตามมาตรฐาน มอก. 20-2527. จำนวนทั้งสิ้น 28 ตัวอย่าง ให้รับแรงกระทำในแนวแกนแบบเป็นวัฏจักร ในการศึกษาครั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมเมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร ทำการทดสอบโดยใช้ประวัติการรับ น้ำหนักในหลายรูปแบบ และจำกัดมิให้เกิดการโก่งเคาะขึ้นในตัวอย่างทดสอบระหว่างที่ทำการทดสอบ จากนั้นได้ ใช้แบบจำลองวัสดุที่ใช้สมการของ Ramberg-Osgood เป็นพื้นฐานซึ่งเสนอไว้ในงานวิจัยอื่น ในการจำลอง ผล การทดสอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนมาก จึงได้ทำการปรับค่า พารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากทดสอบ พบว่าแบบจำลองที่มีการใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดใหม่ สามารถอธิบายผลการทดสอบได้เหมาะสมกว่าของแบบจำลองดั้งเดิม

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา ..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต ..... วรพงษ์ จินข้าง  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C815335 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: REINFORCING STEEL / CYCLIC LOADING / MATERIAL MODEL

WORAPHONG JINCHANG : BEHAVIOR OF REINFORCING STEEL SUBJECTED TO CYCLIC LOADING. THESIS ADVISER : CHADCHART SITTIPUNT, Ph.D. 97 pp. ISBN 974-332-234-5.

This research studies behavior of reinforcing steel subjected to cyclic loadings. Twenty eight specimens were prepared from 25 mm. diameter deformed bars. The deformed bars were manufactured in accordance with TIS 24-2527. In order to investigate effects of yield strengths on the cyclic behavior of the specimens, two grades of steel (SD30 and SD40) were used in the study. The specimens were subjected to cyclic uniaxial loadings and different loading history was used for each specimen. The stress-strain relationship of the specimens was recorded and used as the database for material model evaluation and for parametric study. The Ramberg-Osgood model proposed by other researchers were used for modeling cyclic behavior of reinforcing steel in this study. The parameters of the model were adjusted so that a good correlation between the test results and the analytical results was obtained. The model and the adjusted parameters satisfactorily predict the cyclic stress-strain relationship of the test specimens.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิติ.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งยังให้ความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ วีรพงศ์ เสนจันทร์มิไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้เขียนขอขอบคุณบรรดาเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ และนายสมนึก ตั้งทองคำ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอระลึกถึงด้วยความขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนและสนับสนุนผู้เขียนในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด รวมทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่เคยให้การศึกษาแก่ผู้เขียนมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน



วรพงษ์ จินข้าง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ซ
สารบัญภาพประกอบ .....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
2. แบบจำลองวัสดุของเหล็กเสริม .....	5
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม เมื่อรับแรงกระทำด้านเดียว .....	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม เมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร .....	5
2.3 แบบจำลองวัสดุสำหรับเหล็กเสริมเมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร .....	6
2.3.1 แบบจำลอง Ramberg-Osgood .....	6
3. การทดสอบและผลการทดสอบ .....	13
3.1 ตัวอย่างทดสอบ .....	13
3.1.1 ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ .....	13
3.2 รายการการทดสอบ .....	14
3.3 การเตรียมการทดสอบ .....	14
3.3.1 การติดเกจวัดความเครียด .....	14
3.3.2 การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's) .....	15
3.3.3 หน่วยรวบรวมข้อมูล .....	15
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ .....	16
3.5 ผลการทดสอบ .....	17
4. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับแบบจำลองวัสดุ .....	18
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของเหล็กเสริม .....	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่	
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้น .....	18
4.3 รอบของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดที่มีจุดเริ่มต้น อยู่ในช่วงที่เกิดการคราก .....	19
4.4 รอบความสัมพันธ์หลัก (Envelope Curves) .....	19
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	24
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	24
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	24
รายการอ้างอิง .....	26
ภาคผนวก .....	94
ประวัติผู้เขียน .....	97



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง Ramberg-Osgood ที่เสนอโดย C.Sittipunt (7) .....	28
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของเหล็กเสริมที่ใช้ในการทดสอบ .....	29
4.2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง Ramberg-Osgood ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ .....	29
4.3 เปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง Ramberg-Osgood ที่ใช้พารามิเตอร์ ของ C.Sittipunt (7) กับพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ .....	30

## สารบัญญภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม เมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร .....	31
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม เมื่อรับแรงกระทำเพียงด้านเดียว .....	31
2.2 แบบจำลองวัสดุสำหรับเหล็กเสริมเมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร .....	32
2.3 แสดงรอบความสัมพันธ์หลัก (Envelope Curves) ของความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงและความเครียดในการรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร .....	33
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_o$ กับ $\sigma_{max}-\sigma_{min}$ (Aktan และคณะ (1)) .....	33
2.5 แสดงตำแหน่งคอมมอน (Common point) และตำแหน่งอัลติเมต (Ultimate point) .....	34
2.6 รอบของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดที่มีจุดเริ่มต้น อยู่ในช่วงที่เกิดการคราก (Seckin (6)) .....	35
2.7 รอบของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดที่มีจุดเริ่มต้น อยู่ในช่วงที่เกิดการคราก (Popov (4)) .....	36
3.1 ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ .....	37
3.2 แสดงแท่นจับตัวอย่างแบบเกลียว .....	37
3.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งเกจวัดความเครียด .....	38
3.4 ตัวอย่างทดสอบติดตั้งเกจวัดความเครียด .....	38
3.5 อุปกรณ์สำหรับยึดเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's) เข้ากับตัวอย่างทดสอบ .....	39
3.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ยึดเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้าเข้ากับตัวอย่างทดสอบ .....	39
3.7 ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมโยงสัญญาณจากอุปกรณ์วัดต่าง ๆ เข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูล ...	40
3.8 แสดงตัวอย่างทดสอบที่พร้อมทำการทดสอบ .....	41
3.9 เครื่องกดน้ำหนักไฮดรอลิกซ์แบบ Servopulser ขนาดน้ำหนักสูงสุด 20 ตัน .....	42
3.10 แสดงสภาวะแวดล้อมจริงขณะทำการทดสอบ .....	42
3.11 รูปแบบความเครียด (Strain history) ของตัวอย่างทดสอบ .....	43
3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ .....	43
4.1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ในช่วงเกิดการแข็งตัวเพิ่มขึ้น ของผลการทดสอบกับแบบจำลอง Ramberg-Osgood .....	71
4.2 แสดงรอบความสัมพันธ์ที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ในช่วงเกิดการคราก (กรณีวงรอบเล็ก) .....	73
4.3 แสดงรอบความสัมพันธ์ที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ในช่วงเกิดการคราก (กรณีวงรอบใหญ่) .....	76
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_o$ กับ $\sigma_{max}-\sigma_{min}$ .....	79
4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับแบบจำลอง Ramberg-Osgood .....	80