

ผลของการจัดเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่าง ๆ ต่อพฤติกรรมการรับแรงต้านข้าง
แบบเป็นวัฏจักรของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

นายพิชัย ภัทรรัตนกุล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-839-367-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF DIFFERENT SHEAR REINFORCEMENT DETAILS ON
BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS
SUBJECTED TO CYCLIC LOADINGS**

Mr. Pichai Pattararattanakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**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 974-639-367-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการจัดเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่างๆ ต่อพฤติกรรม
การรับแรงต้านข้างแบบเป็นวัฏจักรของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดย

นายพิชัย ภัทรรัตนกุล

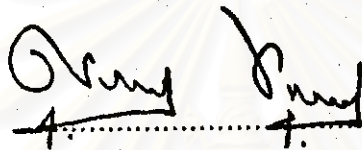
ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์

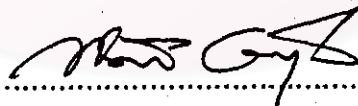
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



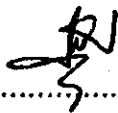
ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติรี)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)

พริษฐ์ กัทรวิพนกุล : ผลของการจัดเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่างๆ ต่อพฤติกรรมการรับแรงต้านข้างแบบ เป็นวัฏจักรของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (EFFECTS OF DIFFERENT SHEAR REINFORCEMENT DETAILINGS ON BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS SUBJECTED TO CYCLIC LOADINGS) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ , 177 หน้า. ISBN 974-639-367-7.

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กรูป Barbell จำนวน 6 ตัวอย่าง ให้รับแรงต้านข้างแบบเป็นวัฏจักร โดยในแต่ละตัวอย่างจะมีเหล็กเสริมใน Boundary Element เหมือนกัน แต่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในกำแพงต่างกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI ให้ออกแบบรับแรงเฉือนเท่ากับกำลังรับแรงดัด ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้ และแม้ว่าจะมีการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในกำแพงจนทำให้มีกำลังรับแรงเฉือนมากกว่ากำลังรับแรงดัดตามข้อกำหนดของ ACI แต่ก็ตามก็ไม่สามารถลดการเสียรูปด้วยแรงเฉือน และกำแพงก็ยังสามารถเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้ อีกทั้งยังไม่ได้ช่วยทำให้ความสามารถในการกระจายพลังงานของกำแพงดีขึ้น สำหรับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกระจายในแนวทแยง จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการเพิ่มความสามารถในการกระจายพลังงาน และจะช่วยลดการเสียรูปด้วยแรงเฉือน และป้องกันไม่ให้กำแพงเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการกระจายพลังงานของกำแพงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่กระจายในแนวทแยงมีปริมาณมากขึ้น และค่าหน่วยแรงเฉือนระบุสำหรับกำแพงที่รับแรงต้านข้างแบบเป็นวัฏจักรตามข้อกำหนดของ ACI ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2.1\sqrt{f_c}$ มีค่าสูงเกินไป และไม่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต *พริษฐ์ กัทรวิพนกุล*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ชัชชาติ สิทธิพันธุ์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C815125 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD:

CYCLIC LOADINGS / REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS / ENERGY DISSIPATION / SHEAR FAILURE / SHEAR REINFORCEMENT

PICHAJ PATTARARATTANAKUL : EFFECTS OF DIFFERENT SHEAR REINFORCEMENT
DETAILINGS ON BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS SUBJECTED TO
CYCLIC LOADINGS. THESIS ADVISOR : CHADCHART SITTIPUNT, Ph.D. 177 pp. ISBN 974-639-
387-7.

In this research, six barbell-shape reinforced concrete shear wall specimens with the same reinforcement in boundary elements and different shear reinforcement in the web were tested under cyclic loadings. Test results indicate that the wall designed according to the ACI Building Code provision with its shear strength equal to its flexural strength can not prevent shear failure, which is abrupt and undesirable. The test results also indicate that adding shear reinforcement in the wall can neither prevent shear failure nor help increase the energy dissipation capacity of the wall. Distributed diagonal shear reinforcement is found to be most effective in increasing the energy dissipation capacity, suppressing shear deformation and preventing shear failure of the wall. The energy dissipation capacity of the wall is increased when the amount of distributed diagonal shear reinforcement is increased. Test results indicate that the limitation on the nominal shear stress of $2.1\sqrt{f'_c}$ for walls subjected to cyclic lateral load according to the ACI Building Code provision can not prevent shear failure.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต ปช. พัทธรัตน์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Chadchart Sittipunt

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านศาสตราจารย์ ดร. ทักซิณ เทพชาติวี ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ หน่วยงาน และบุคคลต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ ดังปรากฏรายนามข้างล่างต่อไปนี้

บัณฑิตวิทยาลัย สำหรับเงินอุดหนุนการวิจัยนี้บางส่วน

บริษัท บีเอสไอมาร์เก็ตติ้ง จำกัด และ บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด สำหรับเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด สำหรับคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้

บริษัท วิเอสแอล (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับ Stressbars ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

บริษัท ซุปเปอร์บล็อก จำกัด สำหรับแบบหล่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Associate Professor S.L. Wood จาก University of Texas at Austin สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้วัดการเสียรูปด้วยแรงเฉือน

คุณ สมพร หนองผือ และ คุณ อรรถพร หาญวานิช สำหรับการช่วยหาคณanganตัดเหล็กเสริม

คุณ สมนึก ตั้งทองคำ, คุณ วรพงษ์ จินข้าง และ คุณ เสกสรรค์ ธรรมอำนวยสุข ที่ช่วยงานต่างๆ ในช่วงการทดสอบ

คุณ กฤษฎา ภูมิ ที่ช่วยควบคุมเครื่องทดสอบขณะทำการทดสอบ

คุณ มนัส พึ่งบางกรวย ที่ช่วยติด Strain Gage ในช่วงทำตัวอย่างทดสอบ

คุณ ชูเกียรติ ฉิมรุ่ง และคุณ สมพงษ์ ช่างแจ้ง สำหรับการช่วยหล่อตัวอย่างทดสอบ ติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และทุกๆ อย่างตลอดการวิจัย

คุณ สุภาณี ภัทรรัตนกุล ที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้บางส่วน

ท้ายสุดนี้สิ่งที่ผู้เขียนจะลืมเสียมิได้คือ พระคุณของบิดา มารดา ผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจให้การอบรมสั่งสอน และอุทิศส่ห้อดทนด้วยความยากลำบาก เพื่อการศึกษาของลูกๆ รวมทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมและให้ความรู้แก่ผู้เขียนตั้งแต่เริ่มเข้าเรียนจนถึงปัจจุบัน สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะจดจำจารึกในจิตใจของผู้เขียนตลอดไป

พิชัย ภัทรรัตนกุล

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฅ |
| สารบัญรูป | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 5 |
| 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย | 5 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 6 |
| บทที่ 2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ | 7 |
| 2.1 ตัวอย่างทดสอบ | 7 |
| 2.2 วัสดุ | 9 |
| 2.2.1 คอนกรีต | 9 |
| 2.2.2 เหล็กเสริม | 9 |
| 2.2.3 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ | 10 |
| 2.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ | 10 |
| 2.3.1 เหล็กเสริม | 10 |
| 2.3.2 การหล่อตัวอย่างทดสอบ | 11 |
| 2.4 การเตรียมการทดสอบ | 12 |
| 2.4.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ | 12 |
| 2.4.2 การค้ำยันตัวอย่างทดสอบทางด้านข้าง | 13 |
| 2.4.3 การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's) | 13 |
| 2.4.4 หน่วยรวบรวมข้อมูล | 13 |
| 2.5 ขั้นตอนการทดสอบ | 14 |
| บทที่ 3 ผลการทดสอบ | 16 |
| 3.1 พฤติกรรมทั่วไปและลักษณะการแตกร้าว | 16 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.1.1 ตัวอย่างทดสอบที่ 1 | 16 |
| 3.1.2 ตัวอย่างทดสอบที่ 2 | 17 |
| 3.1.3 ตัวอย่างทดสอบที่ 3 | 18 |
| 3.1.4 ตัวอย่างทดสอบที่ 4 | 20 |
| 3.1.5 ตัวอย่างทดสอบที่ 5 | 21 |
| 3.1.6 ตัวอย่างทดสอบที่ 6 | 22 |
| 3.2 รูปแบบการวิบัติ | 23 |
| 3.2.1 การวิบัติเนื่องจากแรงอัดในแนวทแยง | 24 |
| 3.2.2 การวิบัติเนื่องจาก Sliding Shear | 24 |
| 3.2.3 การวิบัติเนื่องจากแรงดัด | 25 |
| บทที่ 4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบ | 26 |
| 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง | 26 |
| 4.2 ความสามารถในการกระจายพลังงาน | 28 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน | 29 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม | 30 |
| 4.4.1 ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดัด | 30 |
| 4.4.2 ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน | 31 |
| 4.5 ค่ากำลังของคอนกรีตขณะเกิดการวิบัติแบบ Web Crushing | 32 |
| 4.5.1 การวิเคราะห์โดยใช้วิธี Truss Analogy | 32 |
| 4.5.2 มุมที่ Compressive Struts ทำกับแนวตั้ง | 33 |
| 4.5.3 ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของ Compressive Struts | 33 |
| 4.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ | 34 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 35 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 35 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 36 |
| รายการอ้างอิง | 37 |
| ภาคผนวก | 166 |
| ประวัติผู้เขียน | 177 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 2.1 | รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างทดสอบทั้งหมด40 |
| 2.2 | ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้41 |
| 2.3 | ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยนี้41 |
| 3.1 | พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ 142 |
| 3.2 | พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ 244 |
| 3.3 | พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ 345 |
| 3.4 | พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ 447 |
| 3.5 | พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ 549 |
| 3.6 | พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ 651 |
| 4.1 | หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในกำแพงขณะเกิด Web Crushing53 |
| 4.2 | การเปรียบเทียบกำลังของตัวอย่างทดสอบ54 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 1.1 | ลักษณะการเสริมเหล็กแบบต่างๆ ในการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์55 |
| 2.1 | ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ56 |
| 2.2 | ลักษณะการเสริมเหล็กแบบต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้57 |
| 2.3 | ลักษณะการยึดปลายเหล็กเสริมในแนวทแยงเข้ากับ Boundary Element ของตัวอย่างทดสอบที่ 463 |
| 2.4 | ลักษณะการยึดปลายเหล็กเสริมในแนวทแยงเข้ากับ Boundary Element ของตัวอย่างทดสอบที่ 564 |
| 2.5 | การยึดแบบหล่อชั้นในและชั้นนอกด้วยเหล็กยึดแบบ (Form Ties).....65 |
| 2.6 | แบบหล่อสำหรับหล่อฐานกำแพงของตัวอย่างทดสอบ66 |
| 2.7 | แบบหล่อสำหรับหล่อตัวกำแพงของตัวอย่างทดสอบ67 |
| 2.8 | ตำแหน่งของเกจวัดความเครียดที่ติดบนเหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element68 |
| 2.9 | ตำแหน่งของเกจวัดความเครียดที่ติดบนเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในกำแพง69 |
| 2.10 | การหุ้มเกจวัดความเครียดที่ติดบนเหล็กเสริมรับแรงดัดด้วยสารป้องกัน ความชื้น72 |
| 2.11 | การหุ้มเกจวัดความเครียดที่ติดบนเหล็กเสริมรับแรงเฉือนด้วยสารป้องกัน ความชื้น73 |
| 2.12 | การเอาสายไฟที่ต่อกับเกจวัดความเครียดออกนอกระบบหล่อ74 |
| 2.13 | การเทคอนกรีตลงในแบบหล่อสำหรับหล่อฐานของตัวอย่างทดสอบ75 |
| 2.14 | การเทคอนกรีตลงในแบบหล่อสำหรับหล่อตัวกำแพงของตัวอย่างทดสอบ76 |
| 2.15 | การจี้และเขย่าคอนกรีตด้วยเครื่องเขย่าคอนกรีต (Vibrator)77 |
| 2.16 | แท่งเหล็กที่ใช้ในการถ่ายแรงกระทำทางด้านข้าง78 |
| 2.17 | แสดงการติดตั้งแท่งเหล็กเพื่อใช้ในการถ่ายแรงขณะตั้งน้ำหนักกลับ79 |
| 2.18 | การยึดฐานของตัวอย่างทดสอบ80 |
| 2.19 | การติดตั้งโครงเหล็กเพื่อใช้ค้ำยันตัวอย่างทดสอบทางด้านข้าง81 |
| 2.20 | แสดงตำแหน่งของ LVDT's เพื่อวัดการเสียรูปด้วยแรงเฉือนบริเวณส่วนล่าง ของตัวอย่างทดสอบ82 |
| 2.21 | แสดงตำแหน่งของ LVDT's เพื่อวัดการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ84 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 2.22 | แสดงตำแหน่งของ LVDT's เพื่อวัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุด ตลอดความกว้างของตัวอย่างทดสอบ85 |
| 2.23 | แสดงตำแหน่งของ LVDT's เพื่อวัดการเคลื่อนที่ที่ฐานของตัวอย่างทดสอบ.....88 |
| 2.24 | ไดอะแกรม (Diagram) แสดงการทำงานของหน่วยรวบรวมข้อมูล.....90 |
| 2.25 | ตัวอย่างทดสอบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ จนพร้อมที่จะทำการทดสอบ91 |
| 2.26 | ประวัติการรับน้ำหนัก (Loading History) ของตัวอย่างทดสอบทั้งหมด.....92 |
| 3.1 | แสดงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 193 |
| 3.2 | แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 195 |
| 3.3 | แสดงการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่าง ทดสอบที่ 196 |
| 3.4 | แสดงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 297 |
| 3.5 | แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 299 |
| 3.6 | แสดงการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่าง ทดสอบที่ 2100 |
| 3.7 | แสดงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 3101 |
| 3.8 | แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 3103 |
| 3.9 | แสดงการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่าง ทดสอบที่ 3104 |
| 3.10 | แสดงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 4105 |
| 3.11 | แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 4107 |
| 3.12 | แสดงการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่าง ทดสอบที่ 4108 |
| 3.13 | แสดงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 5109 |
| 3.14 | แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 5111 |
| 3.15 | แสดงการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่าง ทดสอบที่ 5112 |
| 3.16 | แสดงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 6113 |
| 3.17 | แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างตลอดความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 6115 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 3.18 | แสดงการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่างทดสอบที่ 6116 |
| 4.1 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 1117 |
| 4.2 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 2119 |
| 4.3 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 3121 |
| 4.4 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 4123 |
| 4.5 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 5125 |
| 4.6 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 6127 |
| 4.7 | พฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร129 |
| 4.8 | วิธีการคำนวณหาการกระจายพลังงาน130 |
| 4.9 | ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบที่ 1131 |
| 4.10 | ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบที่ 2132 |
| 4.11 | ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบที่ 3133 |
| 4.12 | ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบที่ 4134 |
| 4.13 | ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบที่ 5135 |
| 4.14 | ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบที่ 6136 |
| 4.15 | การคำนวณหาการเสียรูปด้วยแรงเฉือนหรือ Shear Distortion137 |
| 4.16 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือนของตัวอย่างทดสอบที่ 1138 |
| 4.17 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือนของตัวอย่างทดสอบที่ 2139 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 4.18 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างทดสอบที่ 3140 |
| 4.19 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างทดสอบที่ 4141 |
| 4.20 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างทดสอบที่ 5142 |
| 4.21 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างทดสอบที่ 6143 |
| 4.22 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม ของตัวอย่างทดสอบที่ 1144 |
| 4.23 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม ของตัวอย่างทดสอบที่ 2147 |
| 4.24 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม ของตัวอย่างทดสอบที่ 3151 |
| 4.25 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม ของตัวอย่างทดสอบที่ 4154 |
| 4.26 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม ของตัวอย่างทดสอบที่ 5158 |
| 4.27 | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม ของตัวอย่างทดสอบที่ 6162 |
| 4.28 | แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี Truss Analogy สำหรับกำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก165 |