

พฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตหล่อสำเร็จภายใต้แรงแผ่นดินไหว

BEHAVIOR OF PRECAST CONCRETE WALL PANEL UNDER SEISMIC LOAD

ปรีดา ไชยมหาวัน¹ และ ชยานนท์ ทรชรภิญโญ²

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

19 หมู่ 2 ถนนพหลโยธิน ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Preeda Chaimahawan¹ and Chayanon Hansapinyo²

¹ Asst. Prof., School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao

19 Moo 2 Phahonyothin Road, Tambon Maeka Amphur Muang Phayao, 56000

² Asst. Prof., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University

239 Huay Kaew Road, Tambon Suthep, Muang District, Chiang Mai, 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่ใช้ก่อสร้างบ้านพักอาศัย 2 ชั้นภายใต้แรงแผ่นดินไหว ชิ้นทดสอบขนาด 3/4 ของขนาดจริงได้ถูกทำการทดสอบภายใต้แรงกระทำสลับทิศในห้องปฏิบัติการ จุดต่อที่เลือกมาศึกษาเป็นแบบใช้รอยเชื่อมระหว่างเหล็กเดียวกับแผ่นเหล็กที่ฝังในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จและจุดต่อดังกล่าว สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวในระดับต่ำถึงปานกลางได้ ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้ในเขตที่มีความเข้มงวดในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว จะต้องมีการปรับปรุงรายละเอียดของจุดต่อ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

คำสำคัญ: ระบบผนังรับน้ำหนัก, ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ, ต้านทานแผ่นดินไหว

ABSTRACT

This research studies the seismic behavior of precast concrete wall panel applicable for 2-story house. The specimen was 3/4 scaled and tested under reversed cyclic loadings in laboratory. The specific connection in this study was the welded connection between dowel bar and insert plate embedded in precast wall. The tested results reveal that the precast

concrete wall can resist low to moderate seismic force. For safety use, the precast wall with connection such that needs modifications before using in high seismic region.

KEYWORDS: Bearing wall system, Precast concrete wall panel, Seismic resistance design

1. บทนำ

การก่อสร้างอาคารด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปผนังรับแรง (bearing wall) นั้น มีการพัฒนาอย่างยาวนานในต่างประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยสามารถใช้สำหรับก่อสร้างอาคารสูงได้ โดยอาคารดังกล่าว ถูกออกแบบให้สามารถต้านทานแรงกระทำในแนวดิ่ง แรงกระทำด้านข้างจากแรงลม และแผ่นดินไหว มีการวิจัย และการทดสอบความสามารถของจุดต่อรูปแบบต่างๆ [1-5] เพื่อศึกษาและสร้างรูปแบบจุดต่อที่สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ แต่สำหรับประเทศไทย ได้เริ่มใช้ระบบนี้เมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2535 มีบริษัทผู้ประกอบการบ้านจัดสรรจำนวนมาก นำเอาเทคโนโลยีการก่อสร้างระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดผนังรับน้ำหนักมาใช้ในการพัฒนารูปแบบบ้านของตนเอง [6] โดยระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปผนังรับแรง ที่ใช้เป็นทั้งการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นเอง หรือการนำเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ที่ใช้เครื่องจักรคุณภาพสูงจากต่างประเทศ ในการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น พื้น ผนัง เสา รั้วบ้าน เป็นต้น ให้แล้วเสร็จก่อนที่จะนำไปติดตั้งในสถานที่ก่อสร้าง (ดังรูปที่ 2) แต่อาคารดังกล่าว ยังเป็นอาคารที่ออกแบบให้รับแรงในแนวดิ่งเท่านั้น



ที่มา: <http://www.latteycivil.co.nz/precpanelswalls.php>

รูปที่ 1 ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปผนังรับแรงที่มีในต่างประเทศ



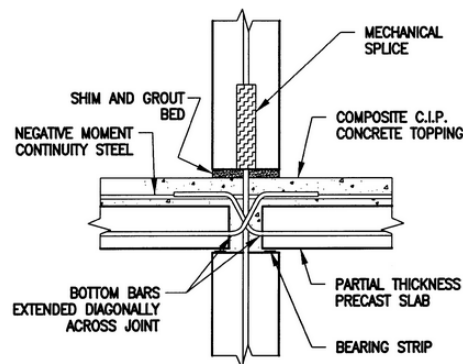
รูปที่ 2 การก่อสร้างบ้านพักอาศัยระบบผนังรับแรงในประเทศไทย

สำหรับอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปผนังรับแรงที่คำนึงถึงแรงกระทำทางข้างจากลมและแผ่นดินไหวในประเทศไทยนั้น เพิ่งจะเริ่มนำเข้ามาใช้ในการก่อสร้างอาคาร 30 ชั้น โดย บมจ. พกฤษฯ ซึ่งใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ ได้ให้วิศวกรจากต่างประเทศเป็นผู้ออกแบบ และให้วิศวกรในประเทศไทยเป็นที่ปรึกษาเพื่อเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยี [7] จึงทำให้เกิดแนวทางการนำไปพัฒนา และการวิจัยเพื่อนำไปใช้กับอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก 2 หรือ 3 ชั้น ที่ต้องการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปผนังรับแรง ให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว โดยจะเกิดประโยชน์สูงสุดกับอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว โดยเฉพาะในบริเวณภาคเหนือ 9 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา แพร่ น่าน ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน ตาก ซึ่งเป็นจังหวัดที่กฎหมายบังคับให้อาคารที่มีความสำคัญต้องออกแบบให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว

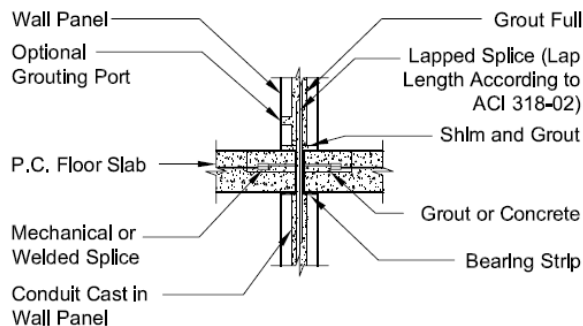
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษา ระบบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับการก่อสร้างอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก โดยศึกษารายละเอียดของจุดต่อระหว่างผนังชั้นบนกับชั้นล่างระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปผนังรับแรงที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทย และสร้างชิ้นทดสอบผนังรับแรงซึ่งมีรายละเอียดการเสริมเหล็กเช่นเดียวกัน โดยเป็นผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวตั้งเท่านั้น แต่นำมาทดสอบความสามารถต้านทานแผ่นดินไหว ในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาดูว่ารายละเอียดการเสริมเหล็กและจุดต่อดังกล่าวนี้สามารถต้านทานแรงกระทำได้มากน้อยเพียงใด และควรมีการพัฒนา รายละเอียดของจุดต่ออย่างไร ให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่เหมาะสมได้ หากมีพฤติกรรมความเหนียวเพียงพอต่อแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สามารถสลายพลังงานได้ดี จะทำให้ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปผนังรับแรง สามารถตอบโจทย์ สำหรับการก่อสร้างอาคารพักอาศัยในปัจจุบันได้ ช่วยลดต้นทุนการผลิต จากแรงงานที่มีราคาแพงขึ้น ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างมีคุณภาพ ลดวัสดุเหลือใช้ที่สถานที่ก่อสร้าง ประหยัดทรัพยากร ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และเกิดความปลอดภัยแก่ชีวิตและทรัพย์สินแก่ผู้พักอาศัย ช่วยลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวได้นั่นเอง

2. รายละเอียดจุดต่อผนังสำเร็จที่นิยมใช้

มาตรฐาน ACI-550.1R [8] และคู่มือการออกแบบของ PCI [9] ได้แนะนำรายละเอียดการเสริมเหล็กที่รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปของผนัง Precast ที่ต่อกันในแนวนอน หรือ รอยต่อระหว่างชั้น เพื่อให้รอยต่อมีพฤติกรรมเสมือนคอนกรีตหล่อในที่ ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 จากรูปจะเห็นว่ารายละเอียดการเสริมเหล็กยึดผนังในแนวตั้งแนะนำให้ใช้การเชื่อมตาทับ หรือใช้ข้อต่อทางกล (Mechanical splice)



รูปที่ 3 รอยต่อผนังชั้นบนและล่างจาก ACI-550.1R [8]



รูปที่ 4 รอยต่อผนังชั้นบนและล่างจาก PCI [9]

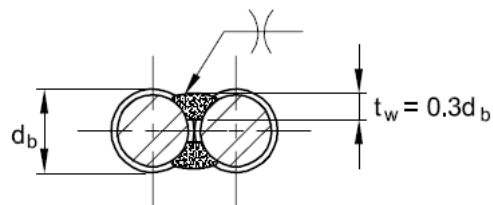
แต่จากการศึกษารูปแบบของจุดต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จชั้นล่าง และชั้นบนในประเทศไทยสำหรับอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก พบว่ามีรูปแบบการต่อ 3 รูปแบบได้แก่

รูปแบบที่ 1 การใช้รอยเชื่อมระหว่างเหล็กเดียวกับเหล็กเดือย (รูปที่ 5) คู่มือของ PCI [9] ได้แนะนำให้ความหนาของรอยเชื่อม (t_w) ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าประมาณ 0.3 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม $t_w = 0.3d_b$

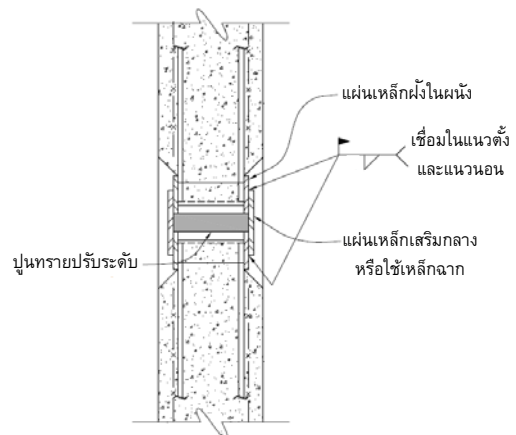
รูปแบบที่ 2 การใช้รอยเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กฝังในผนังกับแผ่นเหล็กฉาก (รูปที่ 6) ซึ่งความหนาของรอยเชื่อมจะต้องไม่มากกว่าขนาดแผ่นเหล็กที่บางกว่า

รูปแบบที่ 3 การใช้รอยเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กที่ฝังในผนังกับเหล็กเดือย (รูปที่ 7) คู่มือของ PCI [9] ได้แนะนำความเอียงของรอยเชื่อมต้องไม่เกิน 15 องศา และความหนาของรอยเชื่อม (t_w) ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าประมาณ 0.2 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม $t_w = 0.2d_b$

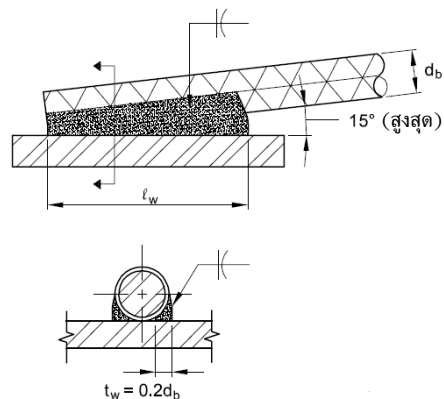
โดยทั้ง 3 รูปแบบเป็นวิธีที่ง่าย แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดได้แก่รูปแบบที่ 3 เนื่องจากทำงานง่าย และยอมให้เกิดความผิดพลาดจากการฝากเหล็กได้พอสมควร มีความยาวรอยเชื่อม 2 ด้าน ในขณะที่แบบที่ 1 สามารถเชื่อมได้เพียงด้านเดียว ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำรูปแบบรอยต่อที่ 3 มาทดสอบเพื่อหาความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ 5 รายละเอียดจุดต่อระหว่างผนังรับแรงชั้นล่างและชั้นบนโดยใช้การเชื่อมระหว่างเหล็กเดือยกับเหล็กเดือย



รูปที่ 6 รายละเอียดจุดต่อระหว่างผนังรับแรงชั้นล่างและชั้นบนโดยใช้การเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กและเหล็กฉาก



รูปที่ 7 รายละเอียดจุดต่อระหว่างผนังรับแรงชั้นล่างและชั้นบนโดยใช้การเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กกับเหล็กเดือย

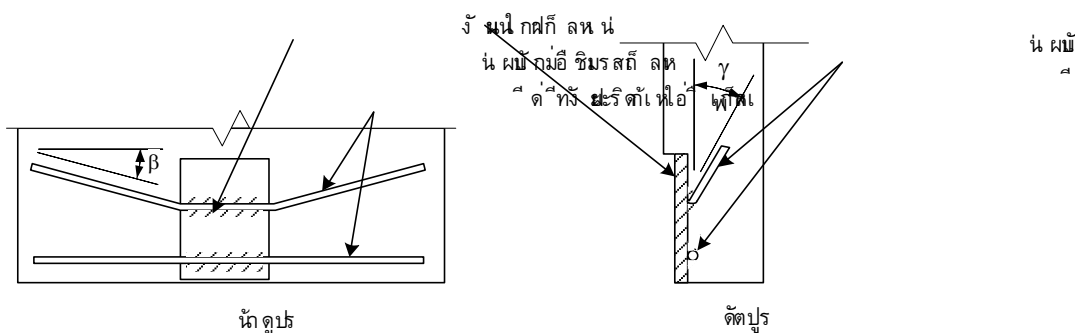
ลักษณะของรายละเอียดของแผ่นเหล็กที่ฝังในผนังแสดงในรูปที่ 8 แผ่นเหล็กดังกล่าวจะใช้เหล็กเดือยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. หรือ 9 มม. จำนวน 2 เส้น มีความยาวเพียงพอให้เกิดระยะฝังที่ดี และ เชื่อมกับแผ่นเหล็กหนา 9 มม. ความสามารถต้านทานแรงดึง (T) สามารถคำนวณจาก (1)

$$T = 0.95A_s(0.5f_y)\cos\beta\cos\gamma \quad (1)$$

เมื่อ A_s เป็นพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเดือย

f_y เป็นกำลังดึงครากของเหล็กเดือย

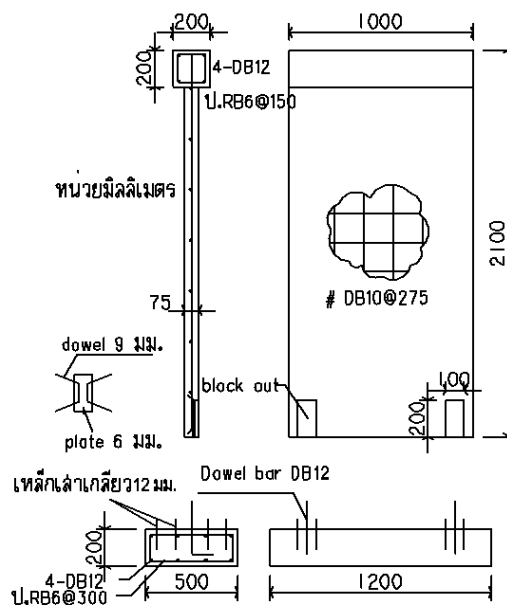
β และ γ มุมเอียงของเหล็กเดือยเทียบกับแนวราบ และแนวตั้งตามลำดับ ปกติมีค่าประมาณ 20-30 องศา



รูปที่ 8 ลักษณะการเชื่อมแผ่นเหล็กที่ฝังในผนัง

3. รายละเอียดของชั้นทดสอบ

ชั้นทดสอบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จมีขนาด 3/4 เท่าของขนาดจริง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของระบบชั้นส่วนสำเร็จผนังรับแรงจำนวน 1 ตัวอย่าง ผนังมีความสูง 2,300 มม. ตั้งแต่ด้านบนจนถึงฐานราก ผนังมีกว้าง 1,000 มม. และหนา 75 มม. ภายในเสริมเหล็กตะแกรง DB10@275 มม. (รูปที่ 9) เพื่อให้อัตราส่วนเหล็กเสริมในแนวนอน และแนวตั้งเป็นเช่นเดียวกับปริมาณเหล็กเสริมในผนังที่มีใช้งานในอาคารบ้านพัก 2 ชั้นในประเทศไทยซึ่งนิยมใช้ DB12@250 มม. และมีผนังหนา 100 มม. ที่ด้านบนมีความหนา 200x200 มม. เพื่อยึดกับหัวสลักไฮดรอลิก ส่วนด้านล่างเป็นฐานสำหรับยึดกับพื้นห้องทดสอบ ชั้นทดสอบมีการหล่อชั้นส่วนแยกจากฐานราก เพื่อจำลองพฤติกรรมให้คล้ายคลึงกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ แล้วนำมาติดตั้งยึดกับฐานรากด้วยการเชื่อม ยึดกับเหล็กเดือยในฐานรากและแผ่นเหล็กหนา 6 มม. ที่ฝังในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ (รูปที่ 10)

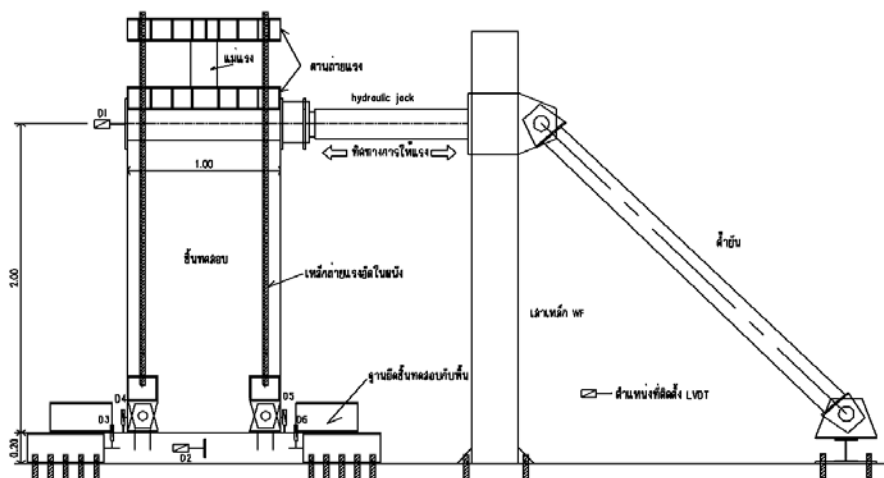


รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในชั้นทดสอบ



รูปที่ 10 การเตรียมชิ้นทดสอบให้เหมือนกับการทำงานจริง

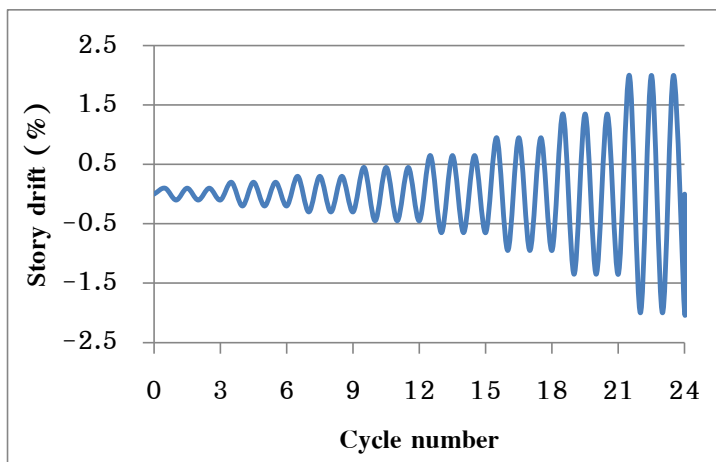
การติดตั้งชิ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 11 ไฮดรอลิก ขนาด 300 กิโลนิวตันยึดกับชิ้นทดสอบและโครงเหล็กมีค้ำยันแนวทแยงซึ่งยึดอยู่กับพื้นห้องปฏิบัติการ น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งที่จำลองน้ำหนักจากชั้นบนถูกถ่ายลงผนังในอัตราส่วน $0.05f'_cA_g$ ผ่านแม่แรง และท่อนเหล็กรับแรงดึงที่ยึดกับฐานและคานถ่ายแรงด้านบน ท่อนเหล็กถูกยึดด้วยจุดยึดหมุน เพื่อให้สามารถถ่ายแรงอัดในแนวตั้งและแรงกระทำทางข้างได้พร้อมกัน ชิ้นทดสอบถูกยึดเข้ากับพื้นห้องปฏิบัติการผ่านสลักเกลียวและฐานยึดชิ้นทดสอบ แรงกระทำแบบบิวจักร ตาม ACI T1.1-01[10] ถูกกระทำดังรูปที่ 13 เพื่อตรวจสอบความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว และพฤติกรรมรอยร้าวที่เกิดขึ้น ภาพถ่ายภาพการติดตั้งเครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนการทดสอบแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 12 ภาพถ่ายการติดตั้งชิ้นทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 13 แรงกระทำแบบวัฏจักร ตาม ACI

คอนกรีตที่ใช้มีกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 23.5 MPa และกำลังดึงของเหล็กเสริมแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ชนิดของเหล็กเสริม	DB12	DB10	RB9
กำลังดึงคราก (MPa)	420	425	350
กำลังดึงประลัย (MPa)	530	562	486

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 พฤติกรรมการแตกร้าว

จากการทดสอบชิ้นทดสอบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ พบว่าเมื่อผนังเริ่มถูกผลัก รอยร้าวที่พบเป็นรอยร้าวแรกได้แก่ที่บริเวณรอยต่อระหว่างฐานกับผนัง สำหรับชิ้นทดสอบผนังหล่อสำเร็จ จะพบรอยร้าวบริเวณที่ใช้ปูนกรอกปิดเอาไว้ และเมื่อถึงกลับรอยร้าวจะเกิดในรอยต่อของผนังและฐานในทิศตรงกันข้าม (รูปที่ 14) เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปเรื่อย ๆ พบว่ารอยร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นและมีจำนวนมากขึ้น อย่างไรก็ตามรูปแบบการวิบัติในตอนสุดท้ายเกิดจากแรงเฉือนที่ฐานรากเสียก่อนที่ผนังสำเร็จจะเกิดการวิบัติ ทั้งนี้เนื่องจากผนังสำเร็จที่หล่อแล้วนำมาติดตั้งมีลักษณะแข็งแรงประกอบกับการออกแบบฐานรากกับพื้นห้องปฏิบัติการที่ยังไม่ดีพอ ทำให้เกิดการวิบัติของฐานรากคอนกรีตด้วยแรงเฉือนเสียก่อนที่จะเกิดการวิบัติที่ผนัง

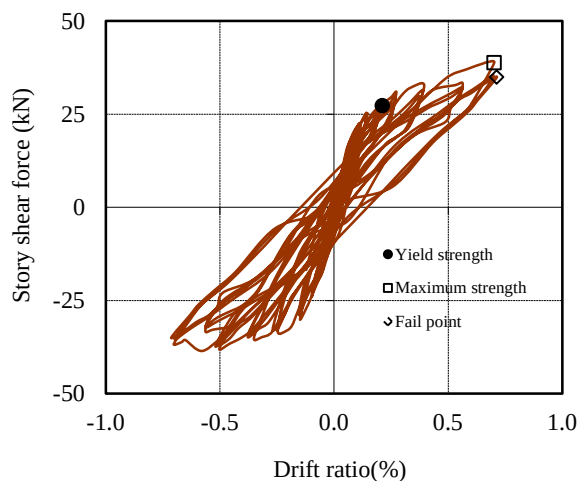


รูปที่ 14 รูปแบบการวิบัติของชิ้นทดสอบผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.2 แรงกระทำกับการเคลื่อนตัว

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ จะเห็นว่าชั้นทดสอบสามารถต้านทานแรงกระทำสูงสุดที่ 38.8 kN ที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ 0.70% (รูปที่ 14) เกิดการครากของชั้นทดสอบที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ 0.21 % ด้วยแรง 27.3 kN เส้นกราฟยังมีการวนโค้งที่แคบอยู่เนื่องจากยังไม่มีรอยร้าวที่สลายพลังงานอย่างชัดเจนในตัวของผนัง แต่หากเทียบแปรความเป็นค่าความเหนียวตามกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 15 นั้น พบว่าได้ค่าประมาณ 3.5 [11] ซึ่งเป็นระดับของกำแพงที่มีความเหนียวจำกัด (limited ductility) เมื่อคำนวณพื้นที่ภายใต้เส้นกราฟเป็นพลังงานที่สูญเสียตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุด พบว่าสามารถสลายพลังงานได้ 1,653 N-m

อย่างไรก็ตามชั้นทดสอบยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่น แต่ฐานยึดเกิดความเสียหายแบบเปราะเสียก่อนการสรุปค่าความเหนียว และพลังงานที่สูญเสียข้างต้น จึงเป็นเพียงค่าในช่วงยืดหยุ่นเท่านั้น ไม่สามารถสรุปรวมถึงพฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่นของผนังได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์

4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับสมการคำนวณ

หากเปรียบเทียบการคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับอาคารขนาดเล็กที่เสนอโดย Francisco J. และคณะ [12] ซึ่งได้เสนอการคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จจากการพัฒนาขึ้นจากกำลังสำรองของเหล็กเสริมที่เชื่อมต่อระหว่างผนังบนและล่างเนื่องจากแรงดัด (M_0) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$V_0 = \frac{M_0}{h_{eff}} \quad (2)$$

เมื่อ h_{eff} เป็นความสูงวัดจากฐานของกำแพงถึงตำแหน่งของแรงลัพธ์ สำหรับชั้นทดสอบใช้ค่า 2,000 มม.

M_0 เป็นโมเมนต์ที่เกิดขึ้นหลังจากเหล็กเสริมเกิดการครากจนเลยถึงกำลังสำรองของเหล็ก สมมุติฐานโดยให้จุดปลายของกำแพงเป็นจุดหมุน ดังรูปที่ 16 โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$M_0 = \left(\omega_0 T_y + \frac{N}{2} \right) (g l_w) \quad (3)$$

เมื่อ ω_0 เป็นอัตราส่วนกำลังสำรองของเหล็กเสริม ใช้ 1.25

g เป็นค่าอัตราส่วนระยะทางจากศูนย์กลางของกลุ่มเหล็กเสริม ซึ่งค่า g มีค่าระหว่าง $0.5 \leq g \leq 0.95$ สำหรับชั้นทดสอบนี้ใช้ค่าเท่ากับ 0.75

l_w เป็นความยาวของกำแพง เท่ากับ 1,000 มม.

N เป็นแรงอัดในแนวแกนของกำแพง ใช้ $0.05 f_c' A_g$ เท่ากับ 18.08 kN

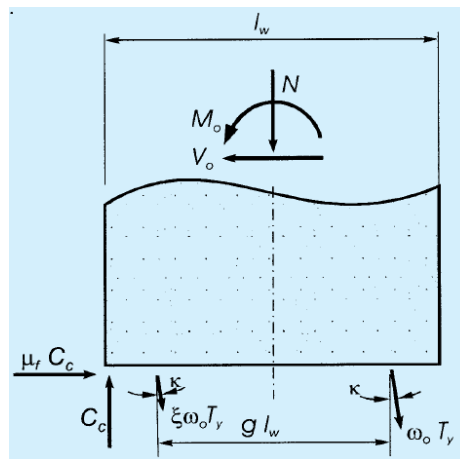
T_y เป็นแรงดึงครากในกลุ่มเหล็กเสริม (รูปที่ 16) สามารถคำนวณได้จาก

$$T_y = \frac{A_{st} f_y}{2} \quad (4)$$

เมื่อ A_{st} เป็นพื้นที่เหล็กเสริมในแนวตั้งทั้งหมดในกำแพง ส่วน $\frac{A_{st}}{2}$ เป็นพื้นที่เหล็กเสริมที่ปลายกำแพง ดังรูปที่ 16

ξ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ สามารถคำนวณจาก $\xi = 1 - 2g$

κ เป็นมุมที่เหล็กเดือยในผนังสำเร็จเกิดการเสียรูปเทียบกับแนวตั้ง



รูปที่ 16 พฤติกรรมของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จต้านทานแรงแผ่นดินไหว [12]

เมื่อคำนวณตามสมการ (2) ถึง (4) จะได้กำลังต้านทานโมเมนต์ของผนัง $M_o = 77.58$ kN-m และกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนัง $V_o = 38.79$ kN ซึ่งตรงกับผลการทดสอบที่ได้กำลังต้านทานแรงสูงสุด 38.8 kN และเมื่อตรวจสอบความเครียดของเหล็กเดือยจาก strain gauge พบว่าเกิดการร้าวร้าวดี เป็นไปตามสมมติฐานตามสมการ (3) และ (4) อย่างไรก็ตาม กำลังต้านทานแรงเฉือนของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มที่จะได้กำลังต้านทานที่สูงกว่านี้หากสามารถป้องกันการวิบัติด้วยแรงเฉือนพื้นฐานได้

5. สรุป

จากการศึกษาผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้ก่อสร้างบ้านพักอาศัย 2 ชั้น โดยมีขนาด 3/4 เท่าของขนาดจริง มีรายละเอียดการเสริมเหล็ก และรายละเอียดของจุดต่อด้วยเหล็กเดือยเชื่อมกับแผ่นเหล็กที่ฝังในผนัง ซึ่งเป็นจุดต่อที่มีใช้ในประเทศไทย ภายใต้แรงกระทำสลับทิศในห้องปฏิบัติการ เพื่อจำลองแรงแผ่นดินไหว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่ได้ออกแบบให้มีรายละเอียดการเสริมเหล็กต้านทานแผ่นดินไหวที่ดีก็ตาม แต่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จดังกล่าว สามารถให้ระดับความเหนียวที่ระดับต่ำถึงปานกลาง ตำแหน่งที่ได้รับความเสียหายได้แก่บริเวณจุดต่อที่ใช้ปูนกรอกปิดไว้ หากนำไปประยุกต์ใช้ในบริเวณที่ต้องออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหวอย่างเข้มงวด จะต้องปรับปรุงรายละเอียดให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยพะเยาที่สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2557 สัญญาเลขที่ R020057218023 และบริษัทพีอาร์เอ็ม คอนกรีตจำกัด ที่อำนวยความสะดวกให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- [1] Soudki Khaled A., Rizkalla Sami H. and Daikiw Robert W. (1995). "Horizontal Connections for Precast Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Deformations Part2: Prestressed Connections". **PCI Journal**. Sep-Oct 1995.
- [2] Can Bora, Michael G. Oliva, Suzanne Dow Nakaki and Roger Becker. (2007). "Development of a Precast Concrete Shear-Wall System Requiring Special Code Acceptance". **PCI Journal**. Jan-Feb 2007.
- [3] Arturo E. Schultz, Maher K. Tadros, Xiao Ming Huo, Rafael A. Magana. (1994). "Seismic resistance of vertical joints in precast shear walls". **Federation Internationale de la Precontrainte (FIP)**. Proceedings of the 12th Congress, Vol.1.
- [4] Neil M. Hawkins and S.K. Ghosh. (2004) "Acceptance Criteria for Special Precast Concrete Structural Walls Based on Validation Testing". **PCI Journal**. Sep-Oct 2004.
- [5] Adajar J. and Yamaguchi T. (1996). "New Connection Method for Precast Shear Wall". **Eleventh World Conference on Earthquake Engineering**. paper No. 590, Elsevier Science Ltd.
- [6] Griengsak Kaewkulchai, Sdhabhon Bhokha and Wiwat Puatatsananon. (2007). "Design Guidelines of Precast Concrete Load Bearing Walls: A Case Study of Oua Arthorn Project". **The 12th National Convention on Civil Engineering**. STR059, Phitsanulok. (in Thai)
- [7] Songpol Charuvist and Prayuth Samanrattanasatien. (2012). "High Rise Precast Building in Thailand". **The 17th National Convention on Civil Engineering**. STR016, Udonthani. (In Thai)
- [8] ACI-ASCE Committee 550. (2001). **Design Recommendations for Precast Concrete Structures (ACI550R-96)**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. USA.
- [9] Precast/Prestressed Concrete Institute. (2004). **PCI Design Handbook 6th Edition**. Chicago, Illinois, USA.

- [10] ACI Innovation Task Group1 and Collaborators. (2001). **Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing (ACI T1.1-01)**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- [11] Seckin M. and Fu HC. (1990). "Beam-column connections in precast reinforced concrete construction". **ACI Structural Journal**. Vol.87 (3): 252-61.
- [12] Francisco J. Crisafulli, Jose I. Restrepo and Robert Park. (2002). "Seismic Design of Lightly Reinforced Precast Concrete Rectangular Wall Panels". **PCI Journal**. July-August: 104-122.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ปรีดา ไชยมหาวัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.พะเยา โทรศัพท์ 054-466666 ต่อ 3384 E-Mail: preeda.ch@up.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานแผ่นดินไหว การออกแบบและประเมินอาคารต้านทานแผ่นดินไหว การเสริมกำลังโครงสร้างโดยใช้วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย



ชยานนท์ หรรษภิญโญ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เชียงใหม่ โทรศัพท์ 053-944156 E-Mail: chayanon@eng.cmu.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ Structural Analysis and Design, Earthquake engineering