

รหัสโครงการ: RMU4880022

ชื่อโครงการ: การเตรียมความพร้อมองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกับมือแผ่นดินไหว

ชื่อนักวิจัย: อมร พิมานมาศ

ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email address: amorn@siit.tu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: สิงหาคม 2548 – กรกฎาคม 2551

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีเตรียมความพร้อมให้กับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้สามารถต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยแบ่งเป็น 3 หัวข้อที่ศึกษาได้แก่ การเสนอแนวทางและผลการประเมินอาคารต้านทานแผ่นดินไหว การศึกษาพฤติกรรมจุดต่อที่ได้รับการเสริมเหล็กในข้อต่อในลักษณะต่าง ๆ และการเสนอวิธีการเสริมกำลังจุดต่อคาน-เสาให้สามารถต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

แนวทางการประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่เสนอนี้ใช้อัตราสัดส่วนของแรงดัดกำลัง (force criteria) และการเปรียบเทียบรายละเอียดการเสริมเหล็ก (detailing criteria) โดยทำการเปรียบเทียบกับแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ออกแบบตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ.2540) และมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวขนาดปานกลางของ ACI (Intermediate Moment Resisting Frame) เมื่อนำแนวทางดังกล่าวมาตรวจสอบกับแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในกรุงเทพฯ ที่ก่อสร้างไปแล้วด้วยระบบคาน-เสา โดยเน้นอาคารที่มีลักษณะการใช้งานเป็นอาคารสาธารณะ เช่น อาคารส่วนราชการ โรงเรียน ที่พักอาศัย จำนวนทั้งสิ้น 15 หลัง ผลการประเมินพบว่าอาคารทั้ง 15 หลังไม่ผ่านเกณฑ์รายละเอียดการเสริมเหล็ก เนื่องจากมีการเสริมเหล็กปลอกที่ไม่เพียงพอในคาน เสา และจุดต่อ อีกทั้งเหล็กปลอกไม่มีของอ 135 องศา (seismic hook anchorage) จากการตรวจสอบอัตราส่วน DCR พบว่ามีอาคาร 10 หลังจากทั้งหมด 15 หลังไม่ผ่านการประเมินภายใต้แรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 และจากการวิเคราะห์รูปแบบการวิบัติพบว่าเกิดการวิบัติเฉือนที่จุดต่อคาน-เสา 38.3% จำนวนองค์อาคารที่วิบัติภายใต้ load flowchart มีน้อยกว่าจำนวนองค์อาคารที่วิบัติภายใต้ yielding flowchart เนื่องจากการใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานในการออกแบบจะใช้คุณสมบัติของวัสดุที่ต่ำกว่าค่าจริง จึงทำให้ได้ขนาดหน้าตัดที่ใหญ่และมีปริมาณเหล็กเสริมมาก นอกจากนี้ผนังกำแพงเคลื่อนยังช่วยลดแรงกระทำด้านข้างที่จะกระจายเข้าสู่โครงเฟรมได้อีกส่วนหนึ่ง

หลังจากที่พบว่าข้อต่อคาน-เสาเป็นองค์อาคารที่อาจเกิดการวิบัติได้มาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของจุดต่อคาน-เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 1/2 เท่าของขนาดจริงภายในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมของจุดต่อคาน-เสาภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยขึ้นทดสอบสร้างจากการรวบรวมข้อมูลดัชนีโครงสร้างอาคารที่มีความสูงปานกลางที่ก่อสร้างในประเทศไทย และไม่ได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว ขึ้นทดสอบดังกล่าวได้ถูกทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยในแต่ละขึ้นทดสอบได้รับการเสริมเหล็กในข้อต่อในลักษณะต่างๆ จำนวน 5 ขึ้น เพื่อศึกษาผลกระทบของจุดต่อที่ไม่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อด้านต้านแผ่นดินไหว ผลกระทบของแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมกับคอนกรีตภายในจุดต่อ ผลของเหล็กปลอกที่เสริมในจุดต่อ และผลของหน่วยแรงเฉือนในจุดต่อ จากการทดสอบพบว่า ขึ้นทดสอบที่ไม่ได้เสริมเหล็กต้านทานแรงแผ่นดินไหว มีความอ่อนแอต่อการ

วิธิตีแบบเฉียบพลันด้วยแรงเฉือนที่จุดต่อ มีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมต่อการต้านทานแผ่นดินไหว สามารถสลายพลังงานได้น้อย มีระดับความเหนียวต่ำ ขึ้นทดสอบที่เสริมเหล็กเป็นไปตามมาตรฐานของ ACI ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวระดับปานกลาง สามารถเพิ่มกำลังต้านทานเพียงเล็กน้อย แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการวิบัติที่จุดต่อได้ ขึ้นทดสอบที่ตัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตภายในจุดต่อตั้งแต่แรก ให้กำลังต้านทานต่ำลงเล็กน้อย แต่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการวิบัติที่จุดต่อมาเป็นการวิบัติที่ปลายคานแทน ซึ่งมีข้อดีคือสามารถซ่อมแซมได้ง่ายกว่า และขึ้นทดสอบที่ใช้การตัดเหล็กนอนในคานจากเหล็กกลางในคานฝั่งซ้ายขึ้นไปเป็นเหล็กบนในคานฝั่งขวาโดยตัดกันเป็นรูปตัว X ในจุดต่อสามารถเพิ่มกำลังต้านทานได้เล็กน้อย เกิดรูปแบบการวิบัติแบบผสมที่จุดต่อและคาน แต่ยังมี hysteretic loop ที่แคบเช่นเดียวกับขึ้นทดสอบอื่น ๆ

งานวิจัยได้เสนอแนวทางการเสริมกำลังจุดต่อคานเสาโดยวิธีการขยายจุดต่อในระนาบ (planar joint expansion) ซึ่งใช้หลักการขยายจุดต่อในลักษณะ 2 มิติ โดยการใช้คอนกรีตเทในที่ และการใช้บาเหล็ก จากทดสอบขึ้นทดสอบเสริมกำลังจำนวน 7 ขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่าการเสริมกำลังโดยการขยายจุดต่อในระนาบทำให้ความสามารถต้านทานแรงกระทำ สดไฟเนส พลังงานที่ดูดซับ และความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการขยายจุดต่อช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กนอนในคานทำให้จุดหมุนพลาสติกย้ายมาเกิดที่คานแทนและยังช่วยป้องกันการวิบัติเฉือนที่จุดต่ออีกด้วย หน่วยแรงเฉือนที่ถ่ายเข้าไปในจุดต่อมีค่าลดลง เนื่องจากความเครียดของเหล็กนอนในคานที่หน้าเสามีค่าลดลง ซึ่งเป็นเพราะการเพิ่มพื้นที่ประสิทธิผลของข้อต่อ และการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความลึกเสาต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนอนในคาน การเสริมกำลังในลักษณะรูปสี่เหลี่ยมและรูปสามเหลี่ยมให้ผลดีเช่นเดียวกัน รอยต่อก่อสร้างระหว่างคอนกรีตเก่าและใหม่จากการขยายจุดต่อไม่ได้ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมความสามารถต้านทานแรงกระทำแบบวัฏจักรเลย การเสริมกำลังโดยใช้บาเหล็กให้ผลดีเช่นเดียวกับการใช้คอนกรีตเทในที่ นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิธีการขยายจุดต่อนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มการโอบรัดให้กับเหล็กนอนในคานบริเวณจุดหมุนพลาสติก นอกจากจะป้องกันการวิบัติเฉือนที่คานแล้วยังช่วยชะลอการโก่งเดาะของเหล็กนอนในคาน ทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นด้วย แต่วิธีการที่นำเสนอนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่เช่นเดียวกับวิธีการเสริมกำลังอื่นๆ วิธีการนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีพฤติกรรมเสาแข็งคานอ่อนและเนื่องจากการขยายจุดต่อทำให้ความยาวขององค์อาคารสั้นลง ซึ่งอาจทำให้เกิดการวิบัติเฉือนในองค์อาคารได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารและควรวิเคราะห์โครงสร้างใหม่หลังจากที่ได้เสริมกำลังแล้ว

คำหลัก: การประเมินความสามารถความต้านทานแผ่นดินไหว, จุดต่อคาน-เสา, การวิบัติด้วยแรงเฉือนที่จุดต่อ, การเสริมกำลังเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว, การขยายจุดต่อในระนาบ

Abstract

Project Code: RMU4880022

Project Title: Preparation of reinforced concrete members against seismic hazard

Investigators: Amorn Pimanmas

Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University

Email address: amorn@siit.tu.ac.th

Project Duration: August 2005 – July 2008

The objective of this research is to study the seismic preparation of reinforced concrete structures. The research consist of 3 parts: 1. Proposal of guideline for seismic evaluation of existing structures and evaluation results, 2. Study of beam-column joint with various joint reinforcing details and 3. Proposal of Joint Planar Expansion method for strengthening beam-column joint.

The proposed guideline for seismic evaluation of structures recommends the examination of demand to capacity ratio (DCR) and reinforcement detailing by comparing between earthquake forces stated in the No. 49 ministerial law and concrete building design code for earthquake load according to ACI intermediate moment resisting frame. The developed guideline is employed to investigate 15 concrete buildings constructed as beam-column frame in Bangkok and peripheral areas. The building are governmental and public buildings, such as schools, universities and apartments. These buildings are medium rise structure with 5-15 stories. According to the evaluation result, it is found that all 15 buildings do not satisfy the ductile reinforcement detailing criterion. This is due to the lack of stirrups in beam, column and beam-column joint. Moreover, the stirrups also lack 135 degree seismic hook. Based on DCR check, it is found that 10 out of 15 buildings do not pass the force criterion. The guideline also proposes the check of failure mode through load and yielding flowchart. Based on the investigation of failure mode, it is found that 38.3% of beam-column joint fail by brittle joint shear. However, the number of buildings that show failure under load flowchart is less than that under yielding flowchart. This is because many existing buildings were designed according the working stress design concept with low allowable stress values as specified by the design code. Moreover, the existing lift core and shear wall also help reduce the force transferred to frame.

After identifying that beam-column joint is one of the most critical members in seismic events, the behavior of half-scale beam-column joints have been investigated in laboratory. The prototype specimen is constructed from structural indices collected from the investigated buildings. The specimens were tested in laboratory with quasi-static cyclic loading simulating earthquake. The first experimental series consist of 5 specimens that aim to study the effect of various joint reinforcing details on the cyclic behavior. The effect of bond removal, the effect of joint reinforcements and the joint diagonal bars are investigated. The test result revealed brittle joint shear failure in several tested specimens. It is found that the substandard beam-column specimen has

undesirable behavior for earthquake resistance. It can dissipate small energy and has low ductility. The specimens with joint reinforcement complying with ACI Intermediate moment resisting frame can have a little capacity increase but the failure mode does not change. The effect of initial bond removal is the capacity decrease but the failure mode can be changed. The failure occurs in beam instead of joint. Specimen with diagonal longitudinal bars in joint has higher capacity. The failure mode is mixed between joint and beam failure. However, the hysteretic loops are still narrow and pinched.

The research proposes the Planar Joint Expansion method to strengthen beam-column joint. The method is based on two-dimensional joint enlargement using either cast-in-place concrete or steel bracket. The second experimental series consists of 7 specimens. Test results show that planar joint expansion increases capacity, stiffness, absorbed energy and ductility remarkably. This is because the planar joint expansion increases the bonding between reinforcing bar and concrete in joint. It also reduces the horizontal joint shear stress through increasing effective joint area. The failure mode is changed from brittle joint shear failure to ductile flexural failure in beam. It is found that strains in steel bars at column face are substantially reduced. The rectangular and triangular expansions perform equally well. The construction joint between new and old concrete does not affect the cyclic behavior. The use of steel bracket also gives comparable reason as that of cast-in-place concrete. The method is more efficient if confinement is added to beams by means of closed stirrups. However, the proposed method still has limitations. The proposed method is suitable for strong column weak beam frame. Moreover, the joint expansion shortens the member length, thus making the member prone to shear failure. Therefore it is required that shear failure should be checked in strengthened members.

Keywords: seismic evaluation, beam-column joint, joint shear failure, seismic retrofit, planar joint expansion