หัวข้อดุษฎีนิพนธ์	พฤติกรรมแบบวัฏจักรของจุดต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปโดยใช้เหล็กสอดหน้าตัดรูปตัวทีที่ย้ายจุดหมุนพลาสติก	
ผู้เขียน	นายรัฐพล เกติยศ	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	
คณะกรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร. ชยานนท์ หรรษภิญโญ	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
	ผศ.ดร. ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
	ดร. พุทธรักษ์ จรัสพันธุ์กุล	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ระบบการก่อสร้างอาคารแบบเดิมกำลังถูกแทนที่ด้วยระบบก่อสร้างสำเร็จรูป เนื่องจากระยะในเวลาก่อสร้างลดลง นอกจากนี้ ระบบก่อสร้างสำเร็จรูปยังมีข้อได้เปรียบอื่นๆ เหนือการก่อสร้างระบบเดิม เช่น มีการควบคุมคุณภาพที่ดีกว่าและงบประมาณการก่อสร้างของทั้งโครงการลดลง โดยปกติคุณสมบัติของโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับคุณภาพของจุดต่อในระบบโครงสร้าง จากงานศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความเสียหายส่วนใหญ่และการวิบัติแบบทันทีทันใดในระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวมีสาเหตุสำคัญมาจากความเสียหายของจุดต่อและความเหนียวมี่ไม่เพียงพอ สำหรับการออกแบบจุดต่อโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป มาตรฐาน PCI ได้ถูกใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบระบบโครสร้างสำเร็จรูป การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติต้านทานแผ่นดินไหวของจุดต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้แรงแบบวัฏจักร การศึกษานี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนการทดสอบและส่วนการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

ในส่วนการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของจุดต่อคอนกรีตสำเร็จรูป ระบบคาน-เสา โดยใช้เหล็กสอดหน้าตัดรูปตัวทีสอดเข้าไปในคานคอนกรีตทดสอบภายใต้แรงสลับทิศ ส่วนย่อยของโครงสร้างจุดต่อภายในระบบ คาน-เสา คอนกรีต ขนาด 2/3 จากขนาดโครงสร้างจริง จำนวน 7 ตัวอย่างถูกใช้เพื่อดำเนินการทดสอบ ซึ่งแบ่งได้เป็น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กระบบหล่อในที่ จำนวน 1 ตัวอย่างและระบบคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งมีรูปแบบจุดต่อที่แตกต่างกัน 6 ตัวอย่าง ตามลำดับ ตัวอย่างโครงสร้างระบบคอนกรีตสำเร็จรูปถูกนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตระบบหล่อในที่ ในส่วนมิติของชิ้นส่วนทดสอบ เช่น เสา คาน และจุดต่อ ถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกแบบให้มีพฤติกรรม เสาแข็ง-คานอ่อน สำหรับรูปแบบจุดต่อสำเร็จรูป P1 เป็นจุดต่อที่ใช้ในปัจจุบันสำหรับงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตในพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวของประเทศไทย โดยออกแบบเพื่อรับน้ำหนักในทิศทางแรงโน้มถ่วงเป็นหลัก สำหรับรูปแบบจุดต่ออื่นๆ ในการศึกษาได้ถูกปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานแผ่นดินไหวจากรูปแบบจุดต่อ P1

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างทดสอบ M1 ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กระบบหล่อในที่ มีคุณสมบัติในการต้านทานแผ่นดินไหวเป็นอย่างดี ลักษณะการวิบัติเกิดจากการเกิดขึ้นของจุดต่อพลาสติกในโครงสร้างคานบริเวณปลายคานหน้าเสา สำหรับโครงสร้างระบบสำเร็จรูปตัวอย่าง P1 ถึง P4 จากผลการทดสอบพบว่า ลักษณะการวิบัติของชิ้นส่วนสำเร็จรูปดังกล่าวมีลักษณะเป็นรอยร้าวแตกแยกตามแนวยาวของการทาบเหล็กเสริมตามยาวบริเวณปลายคานหน้าเสาซึ่งเป็นการวิบัติแบบเปราะ เนื่องจากระยะทาบของเหล็กเสริมที่ปลายของเหล็กสอดหน้าตัดรูปตัวทีสั้นเกินไปและควรจะอยู่นอกบริเวณจุดหมุนพลาสติกหรือตำแหน่งที่มีความเค้นต่ำ สำหรับผลการทดสอบตัวอย่าง P5 และ P6 ที่ใช้เหล็กสอดหน้าตัดรูปตัวทีจำนวน 2 ชุด ซึ่งออกแบบโดยใช้เทคนิคการย้ายจุดหมุนพลาสติกของคาน โดยค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดของหน้าตัดคานบริเวณหน้าเสาความยาวเท่ากับความลึกประสิทธิผลของคานมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดัดหน้าตัดคานบริเวณอื่นๆ เท่ากับ 1.25 เท่า ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการต้านทานแผ่นดินไหวที่ดีกว่าจุดต่อรูปแบบอื่นๆ ในการศึกษา เนื่องจากจุดหมุนพลาสติกถูกย้ายให้ห่างจากหน้าเสาเป็นระยะประมาณความลึกประสิทธิผลของคาน ในตำแหน่งดังกล่าวพบว่า คอนกรีตหุ้มข้างคานมีการหลุดร่อนอย่างเห็นได้ชัดนอกจากนี้ยังปรากฏอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในชิ้นส่วนทดสอบ P5 ปรากฏรอยร้าวแยกเนื่องจากการทาบเหล็กเสริมตามยาวในคานคอนกรีตสำเร็จรูป สำหรับแรงเฉือนระหว่างชั้นสูงสุดพบว่า ชิ้นส่วนสำเร็จรูป P6 มีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้ จุดต่อสำเร็จรูป P6 แสดงคุณสมบัติในการต้านทานแผ่นดินไหว เช่น ค่าความเหนียว การเสื่อมถอยของความแข็งเกร็ง และค่าการสลายพลังงานที่ดีกว่าจุดต่อคอนกรีตสำเร็จรูปรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากการเทคนิคการย้ายจุดหมุนพลาสติกในคานคอนกรีต โดยปราศจากการเสื่อมถอยของแรงยึดเหนี่ยว

ในการศึกษาส่วนการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์แบบสายใยเพื่อจำลองพฤติกรรมวนซ้ำและความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนระหว่างชั้นกับระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างภายใต้แรงสลับทิศแบบวัฏจักรเหมือนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองถูกเปรียบเทียบความถูกต้องกับผลการทดสอบ หลังจากการสอบเทียบ แบบจำลองดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการศึกษาโดยแปรผันพารามิเตอร์ โดยการกำหนดน้ำหนักแนวแกนภายในเสาจากระดับต่ำถึงระดับสูง (0.10 ถึง 0.50 เท่าของกำลังรับน้ำหนักในแนวแกนของเสา) เพื่อตรวจสอบรูปแบบของจุดต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำเร็จรูปในแต่ละรูปแบบภายใต้แรงภายในเสาที่แตกต่างกัน จากผลการวิเคราะห์พบว่าการเสื่อมถอยของความสามารถในการรับแรงเฉือนด้านข้างสูงสุดของจุดต่อโครงสร้างสำเร็จรูป P5 และ P6 มีพฤติกรรมในการลดลงของการรับแรงเฉือนด้านข้างคล้ายกับจุดต่อคาน-เสา คอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ ในขณะที่จุดต่อโครงสร้างสำเร็จรูปรูปแบบอื่นมีการเสื่อมถอยความสามารถในการรับแรงเฉือนด้านข้างสูงสุดในระดับที่สูง เนื่องจากความเสียหายหลักมาจากแรงยึดเหนี่ยวที่บริเวณคานหน้าเสา สำหรับการพิจารณาเสถียรภาพของจุดต่อโครงสร้างสำเร็จรูปพบว่า จุดต่อโครงสร้างสำเร็จรูปทุกรูปแบบ P6 แสดงประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพดีที่สุดเนื่องจากมีค่าดัชนีเสถียรภาพแบบยืดหยุ่นต่ำกว่าจุดต่อโครงสร้างสำเร็จรูปรูปแบบอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Dissertation Title	Cyclic Behavior of Precast Concrete Beam-column Connections with Plastic Hinge Relocation Using T-section Steel Insert	
Author	Mr. Rattapon Ketiyot	
Degree	Doctor of Engineering (Civil Engineering)	
Advisory Committee	Assoc. Prof. Dr. Chayanon Hansapinyo	Advisor
	Asst. Prof. Dr. Tawatchai Tanchaisawat	Co-advisor
	Dr. Bhuddarak Charatpangoon	Co-advisor

ABSTRACT

Currently, a traditional cast-in-place construction is being replaced by prefabricated system reduce construction time. Furthermore, the precast construction offers several advantages such as better quality control and lower overall construction costs. In general, the performance of precast concrete structures is influenced by the quality of their connections. From previous studies, most damage and abrupt failures of precast concrete structures during earthquakes were mainly due to the failure of joint assembly and inadequate ductility. To design a precast connection, PCI standards have been widely adopted as a standard design guideline. As a result, the research was aimed to study and develop a seismic performance of precast concrete beam-column interior joints under cyclic loading. The study was divided into the experimental and numerical programs.

The experimental program was conducted to investigate the performance of precast beam-column concrete connections using T-section steel inserts into the concrete beam and joint core, under reversed cyclic loading. Seven 2/3-scale interior beam-column subassemblies were composed of one monolithic specimen and six precast concrete specimens with different connection details. The seismic performances of all precast specimens were compared to the monolithic control specimen. The geometries of structural elements of all specimens were designed according to the strong-column/weak-beam design philosophy. The P1 precast specimen was a simple connection for a gravity load resistant design. In additional, the connection was currently used for construction of

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

concrete buildings in the Northern Thailand. Other precast specimens were developed with different details from the P1 connection, to improve their seismic performance.

The experimental results showed that the performance of monolithic specimen M1 represented seismic behavior of beam-column concrete frame very well. Also, the test results indicated that the column and joint failure was prevented by forming potential plastic hinge at the beam ends, close to the column faces. For the P1 to P4 precast specimens, the splitting crack along the longitudinal lapped splice was a major failure mode as a brittle failure. Because the embedded dowel bars which connected to the steel inserts were too short to develop bonding between the steel bar and concrete. Furthermore, the design of the precast concrete beams with lap splice on the top of joint region is needed for longer lap length and should be done at the mid span of the beam or at low flexural stress region. Regarding the precast P5 and P6 specimen with double steel T-section inserts, it were designed by using a technique for relocating the beam plastic hinging zone. The nominal flexural capacity of the beam section at a distance of one effective beam depth away from the column face was 1.25 times larger than the maximum anticipated moment capacity of the other beam section. The test result of the two precast specimens showed better seismic performances compared to the other precast ones. The relocation of potential plastic region distinctly exhibited, taken away at around distance of *d* from the beam-column faces. At the location, spalling of concrete covers spreading on the side beam surface were ostensibly observed appeared. However, there were a few splitting cracks in the precast beams of the P5 specimen, appearing at the lap splice regions. Regarding ultimate strengths, maximum strength of P6 specimen was the highest. Furthermore, the P6 specimen showed the best performance in terms of displacement ductility and stiffness degradation among all precast specimens because the plastic beam hinges were successfully relocated from the column faces, especially without bond problem in this connection detail.

Regard to the numerical program, the fiber based finite element method was performed to simulate a hysteretic response and story shear versus lateral displacement under cyclic loading same the experimental study. The accuracy of the FEA models were verified against the test results. After calibration, the parametric study was performed by

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

varying the values of gravity column load from low to high loading ($0.10f_c'A_g$ to $0.50f_c'A_g$), to verify the suitability of using in each precast detail with different magnitudes of column. The numerical results showed that the P5 and P6 precast connections for relocating plastic beam hinge are very similar with the monolithic connection in terms of strength deterioration at the high column loading. Otherwise, high level of strength deterioration at the high level of carried column load is observed in the other precast connection due to the major failure mode as bonding failure at the potential plastic hinging zone, especially the precast P1 connection. For the stability consideration, The elastic indices of P6-FEM series were lower than the other precast FEM series. From the reason, it can be revealed that the P6 precast connection was the best performance for stability consideration.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved