บทคัดย่อ

4รหัสโครงการ : RDG 4530024

ชื่อโครงการ : โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่1)
โครงการย่อยที่ 4 การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารในกรุงเทพมหานคร และศึกษาหาวิธีปรับปรุงอาคารที่อ่อนแอให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม

ชื่อนักวิจัย : เป็นหนึ่ง วานิชชัย[1], วิโรจน์ บุญญภิญโญ[2], อมร พิมานมาศ[3], อาณัติ เรืองรัศมี[4], นพดล เพียรเวช[1], อเนก ศิริพานิชกร[5]
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย[1], มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ [2], สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร[3], จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย[4], มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี[5]
email address : pennung@ait.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : กันยายน 2545 – สิงหาคม 2547

งานวิจัยในโครงการย่อยที่ 4 มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาหากำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในกรุงเทพมหานคร ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วไม่ได้พิจารณาผลของแรงแผ่นดินไหวในการออกแบบ และศึกษาหาวิธีการปรับปรุงอาคารที่อ่อนแอเหล่านี้ให้มีกำลังต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม งานวิจัยแบ่งเป็นสองส่วนหลักได้แก่ การศึกษาพฤติกรรมขององค์อาคารที่คาดว่าจะเป็นจุดวิกฤติในระหว่างเกิดแผ่นดินไหว และ การศึกษาความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารทั้งหลัง งานวิจัยในส่วนแรกนั้น ประกอบด้วยการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 7 ชิ้นทดสอบ จุดต่อคาน-เสา 6 ชิ้นทดสอบ และ จุดต่อพื้นไร้คาน-เสา 1 ชิ้นทดสอบ ชิ้นทดสอบที่ใช้เป็นชิ้นทดสอบขนาดย่อส่วนจากขนาดจริง โดยมีคุณลักษณะทางโครงสร้าง รายละเอียดการเสริมเหล็ก และ วิธีการก่อสร้างเช่นเดียวกับอาคารจริงที่ได้สำรวจมา ชิ้นทดสอบถูกทดสอบภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าชิ้นทดสอบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดการวิบัติในลักษณะเปราะ ตัวอย่างเช่น ชิ้นทดสอบเสาเกิดการวิบัติแบบเฉือนเนื่องจากมีปริมาณเหล็กปลอกไม่เพียงพอ หรือ เกิดการวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว ณ ตำแหน่งการทาบต่อเหล็กยืนที่ฐานเสา งานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการวิบัติที่ไม่พึงปรารถนาเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยการใส่เหล็กปลอกให้พอเพียง และ หลีกเลี่ยงการทาบต่อเหล็กยืนที่บริเวณฐานเสา ในกรณีของจุดต่อคาน-เสานั้น การวิบัติที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบส่วนมากเป็นการวิบัติแบบเฉือนที่จุดต่อ ยกเว้นในกรณีของจุดต่อที่มีเสาขนาดใหญ่ การวิบัติแบบเฉือนของจุดต่อนั้นอาจทำให้เกิดการสูญเสียกำลังต้านทานแรงด้านข้างของอาคารได้อย่างรวดเร็ว สำหรับชิ้นทดสอบรอยต่อพื้น-เสา การวิบัติที่เกิดขึ้นเป็นแบบการเฉือนเจาะทะลุ เมื่อชิ้นทดสอบมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ระดับ 2% ของความสูงระหว่างชั้น การวิบัติที่เกิดขึ้นนี้เป็นการวิบัติแบบเฉียบพลันทำให้เกิดการสูญเสียกำลังต้านทานแรงด้านข้างอย่างรวดเร็ว นอกจากการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมแล้ว งานวิจัยนี้ยังประกอบด้วยการทำนายพฤติกรรมของชิ้นทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อิลีเมนต์ที่ใช้พฤติกรรมวัสดุแบบไร้เชิงเส้น ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลีเมนต์มีความใกล้เคียงกับการทดสอบ เป็นการยืนยันความถูกต้องของวิธีไฟไนต์อิลีเมนต์

งานวิจัยในส่วนที่สองนั้น เป็นการศึกษาหาความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารทั้งหลัง โดยวิธีการวิเคราะห์แบบเพิ่มแรงสถิตด้านข้างแบบไร้เชิงเส้นตามข้อแนะนำของ ATC-40 และ FEMA-273 ตัวอย่างการคำนวณได้ใช้อาคารในกรุงเทพฯ จำนวน 6 อาคารเป็นอาคารตัวแทน อันได้แก่ อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทคาน-เสา มีความสูง 5 ชั้น และ 9 ชั้น อาคารประเภทคาน-เสา-ผนังแรงเฉือนสูง 20 ชั้น จำนวน 2 หลัง อาคารประเภทพื้น-เสาสูง 9 ชั้น และอาคารประเภทพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือนสูง 30 ชั้น แบบจำลองไฟไนต์อิลีเมนต์แบบไร้เชิงเส้นได้ถูกสร้างขึ้นให้มีลักษณะใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุดโดยพิจารณาจากแบบทางสถาปัตยกรรม และระบบโครงสร้างของอาคารจริง การจำลองดังกล่าวได้พิจารณาถึงคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่แท้จริง การลดลงของค่าความแข็งเกร็งของหน้าตัดเนื่องจากการแตกร้าว ผลของ P-delta น้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นในแนวดิ่ง ผนังก่ออิฐ ความยืดหยุ่นของฐานราก

บทคัดย่อ

ประเภทเสาเข็ม และความสามารถในการเสียรูปของจุดหมุนพลาสติกในชิ้นส่วนที่มีรายละเอียดเหล็กเสริมต่างๆกัน แบบจำลองไฟไนต์อิลีเมนต์ที่สมจริงนี้ได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีเพิ่มแรงสถิตด้านข้างแบบไร้เชิงเส้น และแสดงผลในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป แล้วจึงทำการประเมินหาพฤติกรรมและความเสียหายของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยเปรียบเทียบจากความความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป กับระดับความต้านทานที่ควรมีในโครงสร้างเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดในกรุงเทพฯที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 50 ปี จนถึง 2,500 ปี ผลการศึกษาชี้ว่าอาคารประเภทคาน-เสา มีกำลังต้านทานแรงด้านข้างประมาณ 12% ถึง 24% ของน้ำหนักทั้งหมด ส่วนอาคารประเภทพื้น-เสา มีกำลังต้านทานแรงด้านข้างต่ำกว่าคือมีค่าเพียง 6% ถึง 9% ของน้ำหนักทั้งหมด สำหรับอาคารที่มีความสูง 20-30 ชั้น รวมทั้งอาคารสูง 9 ชั้นระบบพื้น-เสาที่เพิ่มผนังแรงเฉือน กำลังต้านทานแรงด้านข้างจะมาจากผนังแรงเฉือนเป็นส่วนใหญ่ ผลการวิจัยชี้ว่าความสามารถในการเสียรูปในช่วงเกินพิกัดยืดหยุ่นของอาคารขึ้นอยู่กับรายละเอียดการเสริมเหล็กเป็นสำคัญ สำหรับอาคารสูงปานกลางที่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่ดี (ซึ่งอาจไม่เหมือนกับอาคารจริงในกรุงเทพฯ) โครงสร้างจะมีกำลังต้านทานและความเหนียวในระดับปานกลาง และจะมีความปลอดภัยจากแรงแผ่นดินไหวในระดับสูงสุดที่คาดว่าจะเกิด อย่างไรก็ตามรายละเอียดการเสริมเหล็กที่ไม่ดีพอโดยเฉพาะในจุดต่อคาน-เสา จะทำให้ความสามารถในการเสียรูปลดลงอย่างมากจนถึงระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นผลการศึกษาจึงยืนยันความจำเป็นที่ต้องมีรายละเอียดการเสริมเหล็กในจุดสำคัญๆ ในโครงสร้างอย่างถูกต้องเพื่อให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ดี นอกจากนี้การประเมินอาคารยังได้แสดงให้เห็นว่าอาคารสูงมีค่าความสามารถในการเสียรูปในช่วงยืดหยุ่นสูงมากกว่าระดับขั้นต่ำที่ควรมี ซึ่งแสดงว่าอาคารจะปลอดภัยจากแผ่นดินไหวในระดับสูงสุดที่คาดว่าจะเกิด อย่างไรก็ตามผลการตอบสนองจากรูปแบบการสั่นไหวในลำดับที่สูงกว่าลำดับที่ 1 ซึ่งอาจมีความสำคัญในกรณีของอาคารสูงยังไม่ได้นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงควรนำไปพิจารณาในงานวิจัยขั้นต่อไปเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ถูกต้อง สำหรับการปรับปรุงความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร วิธีการหลายรูปแบบได้ถูกนำมาพิจารณา ผลการศึกษาชี้ว่า การปรับปรุงรายละเอียดเหล็กเสริม ของชิ้นส่วนสำคัญในโครงสร้างให้มีความเหนียว และ การเพิ่มผนังแรงเฉือน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง

คำหลัก : การทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร, ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก, กำลังต้านทานแผ่นดินไหว, การวิเคราะห์แบบเพิ่มแรงด้านข้าง, โครงสร้างเสา-คาน, โครงสร้างพื้น-คาน, กรุงเทพมหานคร

Abstract

Project Code : RDG 4530024

Project Title : Earthquake Mitigation in Thailand (Phase 1)
Sub-project 4: Seismic Evaluation and Retrofit of Buildings in Bangkok

Investigators : Warnitchai P.[1], Boonyapinyo V.[2], Pimanmas A.[3], Ruangrassamee A.[4], Phien-wej N.[1], Siripanichgorn A.[5]
Asian Institute of Technology[1], Thammasat University[2], Sirindhorn International Institute of Technology[3], Chulalongkorn University[4], King Mongkut's University of Technology Thonburi[5]

Email address : pennung@ait.ac.th

Project Duration : September 2002 – August 2004

The main objectives of this research project are to determine the actual seismic capacity of typical reinforced concrete (RC) buildings in Bangkok, most of which were designed and constructed without any consideration on seismic loading, and to find practical and effective ways to increase the capacity to an acceptable level. The research works are divided into two main parts: (1) seismic performance of critical RC components and (2) seismic capacity of the whole building structures. In the first part, seven RC column specimens, four beam-column subassemblages, and one post-tensioned flat slab-column connection were tested under quasi-static cyclic loading to study their seismic behaviour. These specimens are scaled down models of critical RC components of typical buildings in Bangkok. Their structural parameters, reinforcement details, and construction method were made similar to those of the actual structures. The test results show that most specimens failed in undesirable brittle modes. The columns, for example, failed either in shear due to insufficient lateral reinforcement or by bond failure in the lap splice region at the column base. It was also demonstrated that these undesirable failure modes can be prevented and thus improving the seismic performance by adding a sufficient amount of lateral reinforcement and avoiding the lap splice in the column base region. For the cases of beam-column subassemblages, the diagonal shear failure was found to occur at the beam-column joint in most cases, except in the case where the column is relatively large (due to large tributary area). Such failure may lead to a significant degradation in the lateral strength of RC frame structures under seismic loading. An effective way to prevent the joint failure was proposed. For the case of slab-column connection, a dangerous punching shear failure was suddenly developed after the test specimen has been subjected to a moderate level of cyclic displacement (about 2% drift ratio). Parallel to the cyclic loading tests, detailed computer models of several test specimens were developed using the finite element method with nonlinear constitutive material models. The computer predictions were found to agree reasonably well with the test results, thus confirming the reliability of the computer method.

In the second part of this research works, the seismic capacity of the whole building structures was determined by a nonlinear pushover analysis procedure following the guidelines of the ATC-40 and FEMA-273 documents. Six existing buildings were selected to represent typical RC buildings in Bangkok. They are 5- and 9-story beam-column frame (BCF) buildings, two 20-story BCF buildings with shear walls, 9-story slab-column frame (SCF) building and 30-story SCF building with shear walls. Their nonlinear finite-element models were carefully developed from as-built structural and architectural drawings. The modeling accounts for the overstrength of reinforcement steel, the reduced stiffness of cracked concrete sections, the P-

delta effect, the initial gravity loads, the masonry infill walls, the foundation flexibility, and the limited plastic deformation capacity of various RC members with different reinforcement details. With these realistic FE models, pushover analyses were carried out, and the results were presented in terms of capacity curves. The building's seismic performance was then evaluated by comparing its capacity curve with the seismic demand diagram of predicted earthquake ground motions in Bangkok for return periods from 50 to 2500 years. The results show that the lateral strength of BCF buildings varies from about 12% to 24% of the total weight, while the lateral strength of SCF buildings is relatively lower, varying from about 6% to 9%. In tall buildings of 20 to 30 stories high, the lateral strength is dominated by that of shear walls. This is also true for the case of 9-story SCF building. The inelastic deformation capacity of buildings is found to be very sensitive to reinforcement detailing. If a medium-rise building had good seismic detailing (which is unlikely for those in Bangkok), it could develop a moderately ductile behaviour, which is sufficient to survive the maximum credible earthquake (MCE). However, with typical non-seismic detailing, particularly in the beam-column connections, the deformation capacity could be greatly reduced to an unacceptable level. These results hence confirm the need for proper seismic detailing. The capacity-demand diagrams also show that tall buildings generally have much higher elastic deformation capacity than the maximum elastic deformation demand, which implies that they could be safe against the MCE. However, since the effects of higher vibration modes were not taken into account in this study, and the effects could be significant for tall buildings, a further investigation is required before any conclusion can be reached. Many measures to improve the seismic performance of buildings were also investigated. Among these, seismic detailing of some critical members and adding shear walls have been found to be very effective measures.

Keywords: Cyclic Loading Test, Reinforce Concrete Members, Seismic Capacity, Pushover Analysis, Beam-Column Frame, Slab-Column Frame, Bangkok