Abstract

Project Code: RDG5830015

Project Title: Mitigation of Seismic Risk of Tall Buildings in Bangkok Metropolitan Area from Large Distant Earthquakes

Investigators:

1. Prof. Dr. Pennung Warnitchai (หัวหน้าโครงการ) Asian Institute of Technology
2. Asst. Prof. Dr. Chatpan Chintanapakdee Chulalongkorn University
3. Asst. Prof. Dr. Teraphan Ornthammarath Mahidol University

Email address: pennung@ait.ac.th

Project Duration: August 2015 – June 2018

This study aims to mitigate seismic risk of tall buildings in Bangkok with the following sub-objectives: (1) develop appropriate design spectra for Bangkok by considering the effects of all possible earthquake scenarios including distant large earthquakes and basin amplification, (2) investigate the accuracy of the current response spectrum analysis (RSA) procedure widely used by Thai engineers, and (3) if the RSA procedure is found to be unreliable, propose a more accurate and safer analysis procedure to improve the design deficiency. To achieve the first sub-objective, many recorded ground motions from large earthquake (Mw > 7.5) and long distance (R > 700 km) were collected. The collected ground motions clearly show that the Bangkok soil basin amplifies the earthquake ground motions significantly. Seismic hazard deaggregation analyses for Bangkok and Metropolitan area in Bangkok basin were performed for various ground motion parameters—peak ground acceleration (PGA), spectral acceleration (SA) at 0.2s, 0.5s, 1.0s, 2.0s and 3.0s for 2% probability of exceedance in 50 years (corresponding to 2,475-year return period). The seismic hazard in the central part of Bangkok basin was found to be dominated by the effects of distant large earthquakes. Ten (10) representative sites in Bangkok basin were selected, and representative ground motions at each site were developed assuming a rock-like site condition. These ground motions were real ground motions selected from similar earthquake scenarios in other countries and scaled such that their average spectrum match with the 2,475-yr return period conditional mean spectrum at various conditioning periods. These ground motions were then transformed into the motions at the surface of Bangkok basin by using the deep Bangkok soil basin models developed by Dr. Nakhorn Poovarodom and his team. Appropriate design spectra for Bangkok were finally developed from the response spectra of these surface ground motions.

For the second and third sub-objectives, many structural drawings of tall buildings in Bangkok were collected to identify typical representatives, and four buildings were selected as case studies including 12, 20, 31, and 39-story buildings. They were re-designed per the current RSA procedure and then analysed by the nonlinear response history analysis (NLRHA) procedure to obtained the most realistic and accurate structural responses. The results from NLRHA were used as the referenced values for verifying the accuracy of the current RSA procedure. It was found that the current RSA procedure under-estimates shear in walls and columns significantly. This means that the current RSA procedure is unreliable and will result in unsafe design. An improved analysis procedure called modified response spectrum analysis (MRSA) was proposed, which is to be used for computing shear demands in walls and columns by assuming that higher modes respond elastically. MRSA was applied and its results are in good agreement with NLRHA. Results also show that the current RSA procedure can provide good estimates for floor displacements and inter-story drifts. Although bending moments in wall computed and designed by the RSA procedure are less than the NLRHA's values, it is advisable and economical to use bending moment demands from the current RSA procedure to design bending strength as the resulting flexural yielding can be dealt with by ductile reinforcement detailing where the inelastic strain is expected to be large. This study also proposes a novel calculation technique to estimate the inelastic strain by using simple elastic analysis results. The proposed MRSA method was found to provide good agreement with strain from NLRHA.

Keywords: site amplification effect; Bangkok seismic hazard; conditional mean spectrum, tall buildings, response spectrum analysis, shear wall design

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: RDG5830015

ชื่อโครงการ: โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 4) โครงการย่อย การลดความเสี่ยงของอาคารสูงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในระยะไกล

ชื่อนักวิจัย:

1. ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย (หัวหน้าโครงการ) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย
2. ผศ.ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร. ธีรพันธ์ อรธรรมรัตน์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Email address: pennung@ait.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: สิงหาคม 2558 – มิถุนายน 2561

วัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้คือการหาวิธีลดความเสี่ยงของอาคารสูงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่เกิดจากแผ่นดินไหว โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังต่อไปนี้ (1) จัดทำสเปกตรัมผลตอบสนองที่มีความถูกต้องเหมาะสมกับสภาพความเสี่ยงของกรุงเทพฯ ซึ่งอาจเกิดจากแผ่นดินไหวหลายรูปแบบรวมทั้งแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกล เพื่อนำสเปกตรัมนี้ไปใช้ในการออกแบบอาคารที่ก่อสร้างใหม่ หรือ ใช้ในการประเมินความเสี่ยงของอาคารที่มีอยู่เดิม, (2) ตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์หาผลตอบสนองของอาคารสูงต่อแผ่นดินไหวด้วยวิธีสเปกตรัมผลตอบสนอง (Response Spectrum Analysis, RSA) ซึ่งเป็นวิธีที่วิศวกรไทยนิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน, และ (3) หากพบว่าวิธี RSA ไม่มีความถูกต้องเพียงพอก็ต้องพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาผลตอบสนองของอาคารสูงต่อแผ่นดินไหวที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่าวิธี RSA เดิมเพื่อให้อาคารที่ได้รับการออกแบบมีความปลอดภัย

สำหรับวัตถุประสงค์ย่อย (1) นั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (ขนาดมากกว่า 7.5) และ ที่เกิดขึ้นในระยะไกล (ระยะทางมากกว่า 700 กิโลเมตร) คลื่นแผ่นดินไหวเหล่านี้ได้ชี้ว่าแอ่งกรุงเทพ (Bangkok basin) ขยายความรุนแรงของการสั่นสะเทือนหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับพื้นที่นอกแอ่ง คณะผู้วิจัยได้ทำการแยกแยะความเสี่ยงของแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Deaggregation analysis) ที่แสดงโดยดัชนีความรุนแรงของแผ่นดินไหวรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ความเร่งสูงสุด (PGA) คาบสเปกตรัมการตอบสนอง (Spectral acceleration, SA) ที่คาบการสั่น 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 and 3.0 วินาที และ ที่คาบการเกิดแผ่นดินไหวทุกๆ 2,475 ปี ผลการแยกแยะความเสี่ยงชี้ว่า กรุงเทพ และ จังหวัดในบริเวณกลางแอ่งมีความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกลเป็นหลัก จากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกพื้นที่ 10 ตำแหน่งกระจายทั่วแอ่ง และ ทำการจัดทำชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับสภาพความเสี่ยงของพื้นที่เหล่านี้โดยสมมติว่าสภาพพื้นที่เป็นหินแข็ง (Rock-like condition) คลื่นแผ่นดินไหวเหล่านี้เป็นคลื่นที่บันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริงในต่างประเทศที่มีความคล้ายคลึงกับที่จะเกิดขึ้นได้ในประเทศไทยและเป็นคลื่นที่ได้ปรับขนาดให้เหมาะสมโดยมีค่าสเปกตรัมตอบสนอง (Conditonal Mean Spectrum) ที่ใกล้เคียงกับค่าสเปกตรัมของพื้นที่เหล่านี้ที่คาบการเกิดซ้ำ 2475 ปี คลื่นแผ่นดินไหวเหล่านี้ได้ถูกนำไปวิเคราะห์

คำนวณหาคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินในแอ่งกรุงเทพโดยใช้โมเดลชั้นดินในแอ่งกรุงเทพที่พัฒนาโดย ดร. นคร ภู่วโรดมและคณะ สเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นที่ผิวดินเหล่านี้ได้ถูกนำไปพัฒนาจัดสร้างเป็นสเปกตรัมตอบสนองเพื่อการออกแบบอาคารใหม่และการประเมินความเสี่ยงของอาคารที่มีอยู่เดิม

สำหรับวัตถุประสงค์ย่อย (2) และ (3) คณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมแบบก่อสร้างอาคารสูงเป็นจำนวนมากที่มีอยู่ในกรุงเทพมหานครและได้เลือกอาคารตัวอย่างเป็นกรณีศึกษา 4 หลัง ซึ่งมีความสูง 12, 20, 31 และ 39 ชั้น จากนั้นจึงทดลองออกแบบอาคารตามวิธี RSA แบบเดิม และทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี nonlinear response history analysis (NLRHA) ที่มีความถูกต้องสมจริงมากที่สุด เพื่อใช้เปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของวิธี RSA แบบเดิม ผลการศึกษาพบว่าวิธี RSA แบบเดิมให้ค่าแรงเฉือนในกำแพงและเสาต่ำกว่าผลจากวิธี NLRHA ซึ่งบ่งชี้ว่าวิธี RSA ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันไม่ปลอดภัยเพียงพอ คณะผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีการคำนวณแรงเฉือนในกำแพงและเสา เรียกว่า วิธี Modified Response Spectrum Analysis (MRSA) โดยพิจารณาการตอบสนองในโหมดสูงเป็นแบบอิลาสติก ทำให้ได้ค่าแรงเฉือนเพื่อใช้ในการออกแบบที่ถูกต้องและปลอดภัยขึ้น ส่วนการคำนวณโมเมนต์ดัดที่ต้องต้านทาน การเคลื่อนที่ด้านข้างและการการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ยังคงใช้วิธี RSA แบบเดิมได้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้เสนอวิธีการคำนวณความเครียดในกำแพงเพื่อตรวจสอบการครากของเหล็กเสริมหรือการอัดประลัยของคอนกรีตในกำแพงเพื่อที่จะได้ออกแบบการเสริมเหล็กรายละเอียดให้โครงสร้างมีความเหนียวในบริเวณดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม และพบว่าวิธีใหม่นี้สามารถประมาณค่าความเครียดได้ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์วิธี NLRHA

Keywords: site amplification effect; Bangkok seismic hazard; conditional mean spectrum, tall buildings, response spectrum analysis, shear wall design