

University of Mosul
College of Engineering



**Nonlinear Dynamic Analysis of Multi – Storey
Reinforced Concrete Buildings with Fixed and
Lead Rubber Bearing Isolated Bases**

Halla Jasem Mohamad Al-Hamdanee

Doctor of Philosophy Thesis in

Civil Engineering-Structure

Supervised by

Prof. Dr. Mohammed Najim Mahmood

2021 A.D.

1442 A.H.

Abstract

Earthquakes are one of the most dangerous phenomena in nature, which causes serious damage to property and lives, as well as their impact on man-made structures and it causes death and injury for human. The seismic design aims to protect the buildings and reduce the damages from earthquakes. A lot of research works have been made to get the best solutions to reduce the effect of earthquakes. One of those solutions is using base isolation and the main purpose of an isolated base system is to shift the natural frequency of buildings away from the dominant frequencies of earthquake ground motion, and the other purpose of an isolation base system is to provide an additional means to energy dissipation, thereby reducing the damage in the structure. The main objective of the present work is to investigate the effects of using lead rubber bearing (LRB) as a base isolator system for reinforced concrete buildings having different heights subjected to an earthquake using both linear and nonlinear time history analysis. As a case study, a residential building located on the campus of the University of Mosul was considered in the present study. A comprehensive parametric study for four buildings having different heights, 6, 11, 15 and 20 storeys were carried out using Midas Gen software. Pushover analysis was carried out, using five different procedures to represent the lateral load distribution, and the effects of base isolators and infill panels compared with the fixed base case is presented and discussed. Some of the results of pushover analysis, which is an alternate method of the time history analysis to detect the response of the structure under earthquakes effects, are compared with that of nonlinear time history analysis. The results showed almost good matching between the two types of analysis in terms of safety of the building, storey displacement, and storey drift. The applied lateral load is equal to the design base shear calculated based on assuming the location of the building in an active seismic zone (II) with hard soil type.

In the time history analysis, both linear and nonlinear analyses are carried out and a comparison was made between fixed and isolated base conditions of the four buildings. In the time history analysis, the building is subjected to an El-Centro-1979 earthquake acceleration record. The predicted results of both types of analysis have shown improvement in the response of the isolated base building in terms of natural period, roof acceleration, velocity, base shear, displacement,

storey drift, overturning moment, the hysteresis of the moment-curvature of selected columns, and variation of different types of energies with time. The study includes the effect of using five different groups of LRB and four earthquake intensity on the nonlinear dynamic response of the 11 storeys reinforced concrete building. The predicted results have shown that isolating the bases of the buildings by LRB causes a reduction in the inelastic energy, kinetic energy, damping energy and an increase in the elastic energy, which indicate a reduction in the formation of the plastic hinges in the members of the structure. The increase in the percentage of the elastic energy varied between (50.3% to 20%) for buildings without infill panels having a different height, while the increase in the percentage of the elastic energy for buildings with infill panels was varied between (51.3% to 33.2%). The maximum increase in the elastic energy accompanied with a reduction in the damping and inelastic energy was observed in the building with 6 storeys, while a minimum increase in the elastic energy with a minimal reduction in the inelastic energy and damping energy was observed in the 20 storeys building. This indicates the effectiveness of using LRB in improving the performance of low rise building more than that of high-rise buildings. The study also includes the effects of including the infill panels in the analytical models on the overall dynamic response of both fixed and isolated base buildings subjected to an earthquake. The main results that show the effects of infill panels on the dynamic response included the same parameters stated above. Maximum reduction in the story drift was obtained when infill panels are included in the analysis. The inclusion of the infill panels has only marginal effects on the variation of roof displacement with time when the building is isolated by LRB. The main important improvements that emerged from using LRB, as well as the infill panels in the analysis are the reduction of inelastic energy and upgrading the elastic one that was summed up along the period of the earthquake excitation. The nonlinear finite analysis was carried out to properly specify the most proper width of an equivalent diagonal strut that model the infill panel which fills the gap in the frame. In the present work, tables are constructed that can be used to design a lead rubber bearing in terms of the period of an isolated system (T_D) and maximum vertical reaction in the fixed base column (W). These tables are designed for five seismic zones, five damping ratios and five soil types.

الخلاصة

تعتبر الزلازل من أخطر الظواهر في الطبيعة، حيث تتسبب في أضرار جسيمة للممتلكات والأرواح، فضلاً عن تأثيرها على المنشآت التي يشيدها الإنسان. الهدف من التصميم الزلزالي هو حماية المباني وتقليل الأضرار الناجمة عن الزلازل. أجريت العديد من الأبحاث للحصول على أفضل الحلول للتقليل من تأثير الزلازل. أحد أهم هذه الحلول هو عزل قواعد البناية و الغرض الرئيسي من نظام عزل القواعد هو تحويل التردد الطبيعي للمباني بعيداً عن الترددات السائدة لحركة الأرض الزلزالية، والغرض الآخر من نظام عزل القواعد هو توفير وسيلة إضافية لتبديد الطاقة. الهدف الرئيسي من الدراسة الحالية هو دراسة تأثير استخدام عوازل المطاط المقوى بالرصااص (LRB) كنظام عزل أساسي للمباني الخرسانية المسلحة ذات الارتفاعات المختلفة المعرضة للزلازل باستخدام التحليل الزلزالي الخطي وغير الخطي.

في هذه الأطروحة، تم استخدام خمس طرق مختلفة لتمثيل توزيع الحمل الجانبي ومقارنة تأثير نظام عزل القواعد مع تأثير جدران القواطع الناتج من تحليل الدفع الجانبي الساكن غير الخطي لمبنى خرساني مسلح مكون من أحد عشر طابقاً ودراسة استجابته لتأثير الزلزال. تمت مقارنة نتائج التحليل الدفع الجانبي وهو طريقة بديلة للتحليل الزلزالي للكشف عن استجابة المنشأ تحت تأثيرات الزلازل مع التحليل الزلزالي غير الخطي. الحمل الجانبي المسلط يساوي قص قاعدة التصميم المحسوب على أساس افتراض موقع المبنى في منطقة زلزالية (II) ونوع التربة القوية. كما تضمنت الدراسة أيضاً تأثير ارتفاع ال (LRB) وارتفاع المباني الخرسانية المسلحة وهي اربعة ابنية ذات (6 ، 11 ، 15 ، 20 طابقاً) على استجابة التحليل الدفع الجانبي ومقارنة النتائج بنتائج تحليل البناية ذات القواعد الثابتة. أظهرت النتائج تطابقاً جيداً بين نوعي التحليل من حيث سلامة المبنى، قص القواعد الأقصى والإزاحة القصوى، قص الطوابق، إزاحة الطابق، وانجراف الطوابق. كما تقدم الدراسة مقارنة بين نتائج التحليل الزلزالي غير الخطي مع نتائج التحليل الدفع الجانبي.

تضمنت الدراسة حالة مبنى سكني يقع في حرم جامعة الموصل. ودراسة حدودية لأربعة مبانٍ بارتفاعات مختلفة باستخدام برنامج Midas Gen. تم تحليلها في إطار التحليل الزلزالي الخطي وغير الخطي لحالتين من الاسناد وهي المعزولة والثابتة تحت تأثير سجل التسارع الزلزال El-Centro-1979. أوضحت الدراسة الحالية تأثير نوع التحليل والتحسين في استجابة المبنى المعزول (مع وبدون جدران القواطع) تحت تأثير الزلزال مقارنة

بالبنائية ذات القواعد الثابتة. أظهرت النتائج لكلا النوعين من التحليل تحسناً في استجابة المبنى المعزول من حيث الفترة الطبيعية، التعجيل، سرعة حركة السقف، قوى قص القواعد، الانحراف في الطوابق، الإزاحة، عزم الانقلاب، علاقة تغير العزم - الانحناء في الأعمدة، وتغير انواع مختلفة من الطاقات مع الزمن. كما تضمنت الدراسة تأثير استخدام خمس مجموعات مختلفة من LRB وتأثير شدة الزلزال على الاستجابة الديناميكية للاختبار لمبنى خرساني مسلح مكون من 11 طابقاً. أظهرت الدراسة ان استخدام LRB يؤدي إلى انخفاض الطاقة غير المرنة والطاقة الحركية وطاقة الاخمد وزيادة في الطاقة المرنة. تراوحت الزيادة في النسبة المئوية للطاقة المرنة بين (3.50% إلى 20%) للمباني التي لا تحتوي على جدران القواطع (6 ، 11 ، 15 ، 20 طابقاً) على التوالي، بينما تفاوتت الزيادة في نسبة المرونة للمباني التي تحتوي جدران القواطع ما بين (3.51% إلى 33.2%). لوحظت الزيادة القصوى في الطاقة المرنة مصحوبة بانخفاض في الاخمد والطاقة غير المرنة في المبنى المكون من 6 طوابق، بينما لوحظ الحد الأدنى من الزيادة في الطاقة المرنة مع الحد الأدنى من انخفاض الطاقة غير المرنة وطاقة التخميد في المبنى المكون من 20 طابقاً. يشير هذا إلى فعالية استخدام LRB في تحسين أداء المباني المنخفضة الارتفاع أكثر من المباني الشاهقة.

أخيراً ، تتضمن الدراسة أيضاً تأثير جدران القواطع على الاستجابة الديناميكية الشاملة لكل من المباني ذات القواعد الثابتة والقواعد المعزولة المعرضة لزلزال. تشمل النتائج الرئيسية التي تم عرضها تباين التعجيل، وإزاحة السقف، وقص القواعد، وتغير الطاقة الإجمالي ، وتأثيرات استخدام LRB مع جدران القواطع على انحراف الطوابق. تم الحصول على أعلى نقصان في الانحراف في الطوابق عند استخدام جدران القواطع في التحليل الزلزالي للبنية المعزولة. إن استخدام جدران القواطع له تأثيرات هامشية على تباين إزاحة السقف مع تغير الزمن عندما يكون المبنى معزولاً بواسطة LRB. التحسينات المهمة الرئيسية التي نشأت عن استخدام LRB، بالإضافة إلى جدران القواطع في التحليل هي تقليل الطاقة غير المرنة ورفع مستوى الطاقة المرنة التي تم رسمها طوال فترة التحليل الزلزالي. تم اجراء دراسة غير خطية باستخدام طريقة العناصر المحددة لتحديد العرض المثالي للدعامة القطرية التي تمثل جدار القواطع.



جامعة الموصل

كلية الهندسة

التحليل الحركي غير الخطي لأبنية خرسانية مسلحة
متعددة الطوابق ذات قواعد مثبتة وقواعد معزولة بمساند
مطاطية مدعمة بالرصاص

اطروحة تقدمت بها

حلا جاسم محمد حسين الحمداني

الى

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل

كجزء من متطلبات نيل شهادة الدكتوراه فلسفة

في الهندسة المدنية-إنشاءات

بأشراف

أ.د. محمد نجم محمود

2021م

1442هـ