

Abstract

Earthquakes are among the most destructive natural disasters that threaten not only the human life but have influence on the economic and social aspects, too. As the civilization grows and evolves into the new stages, our needs have been changing constantly. That being said, we require larger and more complex premises in order to sustain our existence in the modern times. Such developments lead us to understand the nature more comprehensively and find solutions against its harsh conditions. Especially in the seismically active regions of the world, it is anymore largely accepted that the earthquakes do not kill but the buildings. Accordingly, structural engineers working in this field have been looking for protective solutions against the ground shakes for several decades already. In this study, one of these solutions is presented which particularly aim to mitigate the seismic effects on reinforced concrete (RC) buildings constituted with masonry infill walls. For this purpose, flexible joints made of a polymer-based material, called polyurethane flexible joints (PUFJ), is used as a buffer zone between the RC frame and infill wall members. In this way, earthquake induced detrimental effects are aimed to be mitigated by means of dissipating the seismic energy at the critical structural zones. This dissertation consists of several chapters. In the first two chapters, a brief information about the layout of the work as well as the earthquake phenomenon and its influence on the buildings are provided. Third chapter is dedicated to an extensive literature review for addressing the problem from different point of views and introducing a variety of offered solutions in this regard. The original proposed solution of this study is experimentally investigated in the fourth chapter, and divided into two main campaigns. Firstly, in-plane direction quasi-static cyclic shear tests imposed on the large-scale single-bay and single-story RC frames are tested. The flexible joint solution is implemented in two different ways aiming to provide this technique in new (to-be-built) or old (existing) buildings. As the reference frames for enabling the comparison, additional specimens representing the traditionally constructed masonry infill walls with the stiff mortar joints and the bare-frame without the infill wall are also tested. The results are evaluated in terms of the lateral displacement (and its derivative – the drift ratios) and force resistance capacities. Two distinctive measuring methods, namely the displacement transducers (DT) and the digital image correlation (DIC), are also utilized and the outcomes are compared. In the second experimental campaign, a three-dimensional box-shaped RC building comprised of the masonry infills is built with the aforementioned two different PUFJ solutions and tested against the real earthquake records on a seismic shake table. Multiple testing steps are followed as the loading methodology for exposing the gradually increasing seismic intensities on the building in the orthogonal loading directions of its horizontal plane. Drift capacities as well as the damage patterns are investigated corresponding the different test stages. In addition, a protective method for providing the quick seismic intervention is investigated, which uses the fiber-reinforced polyurethane (FRPU) wrapping sheets on the masonry members. These diagonally placed FRPU strips are offered particularly for enhancing the drift and strength capacities of the damaged structure in a reasonable level. Moreover, harmonic vibration tests are also performed by a special vibration generating device which led to illuminate the dynamic behavior in the resonance frequency domain. The fifth and sixth chapters are aimed at exhibiting the possibility of computer modeling of the experimental tests and introducing a simple yet noble solution of implementing the PUFJ proposal for the engineering practitioners, respectively. In this regard, appropriate material constitutive models are determined suitable for the finite elements method (FEM) and

various numerical analyses are executed. In the final chapter, the findings are summarized and concluded with the future research suggestions. Considering all information and outcomes gathered, the author claims that the study involves valuable novelties which might have positive impact not only scientifically, but on the societies as well, when it comes to the endeavor of the earthquake resistant building design. The proposed solutions are easy to implement, relatively affordable and cause similar financial burdens in the long-term when compared to the standard construction practices. In this sense, it is an attractive solution against the expensive systems like seismic base isolators, massive steel braces etc., hence particularly suitable for the developing countries, where it is practically impossible to rehabilitate the entire building stock with costly methods. The numerical and analytical solutions introduced within this study are also thought to be practical in terms of analyzing the different variations of problems.

Streszczenie

Trzęsienia ziemi należą do najbardziej niszczycielskich klęsk żywiołowych, które zagrażają nie tylko życiu ludzkiemu, ale mają również wpływ na aspekty gospodarcze i społeczne. W miarę jak cywilizacja rozwija się i przechodzi na nowe etapy, nasze potrzeby nieustannie się zmieniają. Potrzebujemy większych i bardziej złożonych pomieszczeń dla podtrzymania naszej egzystencji w czasach nowożytnych. Takie zmiany wymuszają pełniejsze zrozumienie natury i znalezienie rozwiązań odpornych na trudne warunki przez nią narzucone. W aktywnych sejsmicznie regionach świata powszechnie przyjmuje się, że to nie trzęsienia ziemi zabijają, ale budynki. W związku z tym inżynierowie budowlani, zajmujący się tą dziedziną nauki już od kilkudziesięciu lat, poszukują rozwiązań zabezpieczających budynki przed wstrząsami podłoża. W niniejszym opracowaniu przedstawiono jedno z tych rozwiązań, które w szczególności ma na celu złagodzenie skutków oddziaływań sejsmicznych w budynkach żelbetowych (RC) z murowanymi ścianami wypełniającymi. W tym celu, złącza podatne wykonane z materiału na bazie polimerów, zwane poliuretanowymi złączami podatnymi (PUFJ), są stosowane jako strefa buforowa między ramą żelbetową a elementami ściany wypełniającej. W ten sposób szkodliwe skutki wywołane trzęsieniami ziemi są łagodzone poprzez rozpraszanie energii sejsmicznej w krytycznych strefach konstrukcyjnych. Niniejsza rozprawa składa się z kilku rozdziałów. W pierwszych dwóch rozdziałach przedstawiono krótkie informacje o układzie pracy oraz o zjawisku trzęsienia ziemi i jego wpływie na budynki. Rozdział trzeci poświęcony jest obszernemu przeglądowi literatury, pozwalającemu na ujęcie problemu z różnych punktów widzenia i na przedstawienie różnorodnych rozwiązań proponowanych w tym zakresie. Oryginalne rozwiązanie zaproponowane w niniejszej pracy zostało przebadane eksperymentalnie w ramach dwóch kampanii badawczych, przedstawionych w rozdziale czwartym. Najpierw, prowadzone były quasi-statyczne cykliczne testy ścinania w płaszczyźnie ścian na wielkoskalowych jednoprzęsłowych i parterowych ramach żelbetowych. Polimerowe złącze podatne zostało wykonane dwoma różnymi sposobami, umożliwiającymi zastosowanie tej techniki w nowych (w trakcie budowy) i w starych (istniejących) budynkach. Jako referencyjne elementy porównawcze badano murowane ściany wypełniające wykonane metodą tradycyjną, ze sztywną spoiną z zaprawy mineralnej, oraz gołą ramę żelbetową bez ścian wypełniających. Wyniki badań oceniane były pod kątem powstałych przemieszczeń poziomych w płaszczyźnie ściany (i ich pochodnych – współczynników wychylenia konstrukcji) oraz wytrzymałości na działanie sił ścinających. Wykorzystano również dwie odrębne metody pomiarowe, a mianowicie przetworniki przemieszczenia (DT) i cyfrową korelację obrazu (DIC), a uzyskane wyniki zostały porównane ze sobą. W drugiej kampanii eksperymentalnej, trójwymiarowa rama żelbetowa w kształcie prostopadłościanu z

murowanymi ścianami wypełniającymi została wykonana z wykorzystaniem wspomnianych wcześniej dwóch różnych rozwiązań PUFJ i była testowana na stole sejsmicznym przy użyciu rzeczywistych zapisów trzęsień ziemi. Zastosowano wieloetapowe stopniowe zwiększanie poziomów wymuszenia sejsmicznego w kierunkach prostopadłych do płaszczyzn bocznych budynku. Przy różnych poziomach wymuszenia były mierzone maksymalne wychylenia konstrukcji oraz określone były wielkości towarzyszących im uszkodzeń. Ponadto była badana metoda ochronny, zapewniająca szybką interwencję sejsmiczną, która wykorzystywała maty kompozytowe wykonane z podatnego poliuretanu wzmocnionego włóknami (FRPU), klejone na elementach murowych. Zamontowane diagonalnie kompozyty FRPU były stosowane szczególnie w celu zwiększenia zdolności do przenoszenia dużych wychyleń konstrukcji i zwiększenia wytrzymałości uszkodzonej konstrukcji na rozsądnym poziomie. Następnie, przeprowadzane zostały badania tego samego budynku pod wymuszeniem harmonicznym generowanym za pomocą specjalnego urządzenia, które pozwoliło ocenić odpowiedź dynamiczną konstrukcji w zakresach pracy z częstotliwościami rezonansowymi. Rozdziały piąty i szósty przedstawiają możliwości komputerowego modelowania badań eksperymentalnych oraz proste, ale efektywne rozwiązanie analityczne implementujące PUFJ do praktyki inżynierskiej. W tym zakresie, wykorzystane zostały modele konstytutywne materiału odpowiednie dla metody elementów skończonych (MES), oraz wykonane zostały różne analizy numeryczne. W ostatnim rozdziale podsumowano wyniki badań i zakończono pracę wskazaniem dalszych prac. Biorąc pod uwagę wszystkie zebrane informacje i wyniki, autor wskazuje istotne nowości, które mogą mieć pozytywny wpływ nie tylko w aspekcie naukowym, ale także społecznym, zwłaszcza jeśli chodzi o projektowanie budynków odpornych na trzęsienia ziemi. Proponowane rozwiązania są łatwe we wdrożeniu, stosunkowo niedrogie i powodują podobne obciążenia finansowe w dłuższej perspektywie czasowej jak te standardowe wykorzystywane dotychczas w praktyce inżynierskiej. W tym sensie, jest to atrakcyjne rozwiązanie w porównaniu z kosztownymi systemami, takimi jak: izolatory sejsmiczne, masywne stalowe wsporniki, itp. Są one zatem szczególnie odpowiednie dla krajów rozwijających się, gdzie praktycznie niemożliwe jest zabezpieczenie całego budynku kosztownymi metodami. Rozwiązania numeryczne i analityczne wprowadzone w ramach tego opracowania są również uważane za praktyczne pod względem analizy różnych wariantów postawionych problemów.