unesco
Category 2 Centre under the auspices of UNESCO
RCECWA
Regional Education and Research Center on Earthquake Risk Management and Resilience for West and Central Asia
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

طراحی سیستم‌های جداسازی‌شده جرمی بر مبنای محدوده پایداری و بهبود عملکرد آنها با استفاده از تکنیک اهرم فرکانسی

منصور ضیایی‌فر
دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک mansour@iiees.ac.ir

محمد بوجاری

هدف از انجام این پژوهش، افزایش کارایی سازه‌های جداسازی جرمی از طریق افزایش انعطاف‌پذیری و میرایی آنها بوده است. در روش جداسازی جرمی، سازه به دو زیرسازه سخت و نرم تقسیم می‌شود که تغییرمکان‌های جانبی زیرسازه نرم توسط زیرسازه سخت، با کمک میراگرهای واسط کنترل می‌شود. در گام نخست این تحقیق، هدف افزایش انعطاف‌پذیری زیرسازه نرم تا حد تأمین پایداری جانبی آن به شرط کنترل تغییرمکان توسط زیرسازه سخت بوده است. در مرحله بعد برای بهبود عملکرد سازه و کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای آن از ایده اهرم فرکانسی برای کاهش نیروهای اعمالی به زیرسازه سخت استفاده به عمل آمده است. در ادامه با انتقال ارتعاشات حاصله در سیستم به مودهای بالاتر، سعی در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه و کاستن از بارهای طراحی آن گردیده است.

افزایش انعطاف‌پذیری زیرسازه نرم معطوف به تأمین پایداری جانبی آن می‌باشد که در سازه‌های جداسازی جرمی، با فرض کنترل تغییرمکان‌های جانبی این زیرسازه از طریق زیرسازه سخت این محدوده پایداری قابل تأمین بوده و افزایش انعطاف‌پذیری زیرسازه نرم تا حد بالاتری نسبت به سازه‌های متعارف ساختمانی امکان‌پذیرخواهد بود. در این تحقیق، مسأله پایداری زیرسازه نرم از طریق روش بار افزون با در نظر گرفتن اثرات $P-\Delta$ و محدود نمودن دامنه تغییرمکانی زیرسازه سخت مورد بررسی قرار گرفته و از این طریق روابطی تحلیلی برای مرتبط نمودن انعطاف‌پذیری با پایداری در سازه‌های جداسازی جرمی با دامنه تغییرمکانی تعیین شده حاصل شده است. در ادامه با استفاده از ایده اهرم فرکانسی برای کاهش نیروی لرزه‌ای انتقال یافته به زیرسازه سخت در سازه‌های جداسازی شده جرمی پرداخته شده است. در این روش، از طریق مکانیزم قطع و وصل سریع جریان نیرو در میراگرهای کنترلی واسط مابین دو زیرسیستم از میزان نیروی وارده به سازه کاسته شده است.

در بخش انتهایی این تحقیق نیز سعی شده تا قطع و وصل جریان نیرو در مکانیزم اهرم فرکانسی متناسب با پریودهای طبیعی مودهای بالاتر سازه صورت پذیرد تا با انتقال انرژی به آن مودهای از میرایی ذاتی آنها برای کاهش دامنه نیروهای لرزه‌ای استفاده شود.

در بحث افزایش انعطاف‌پذیری سازه، با استفاده از روابط بدست آمده در مثال مورد مطالعه مشخص شد که ضریب پایداری ایمن زیرسازه نرم یک سازهٔ جداسازی شده جرمی۷ طبقه با دامنه تغییرمکان آستانه فروریزش 2% در محدوده قابل‌قبول تجربیات مهندسی قرار دارد وانعطاف‌پذیری این سازه در محدوده $T=3.9\,\text{sec}$ قابل تأمین خواهد بود. در رابطه با مسأله اهرم فرکانسی نیز نشان داده شد که می‌توان از طریق قطع و وصل سریع جریان نیرو در میراگرهای واسط (با فرکانس $15\,Hz$ در یک سازه نمونه)،

Design of Mass Isolated Systems Based on Stability Margin and Recurrent Switching Technique

Mansour Ziyaeifar
Associate Professor, Structural Engineering Research Center
mansour@iiees.ac.ir

Mohammad Boojari

The purpose of this research was to increase the efficiency of mass isolated structures by increasing their flexibility and damping characteristics. In the mass isolation approach, the structure is divided into two stiff and soft substructures where the lateral displacement of the soft substructure is controlled by the stiff one with the help of energy dissipaters located between them. In the first step of this work, the goal was to increase the flexibility of the soft substructure without stability problems by controlling its lateral displacement using stiff substructure. In the next step, in order to improve the performance of the structure and reduce its seismic responses, the idea of recurrent switching is used to reduce the level lateral forces on the structural system. Further, by transferring the induced vibrational effects on the system to the higher modes of the structure, seismic responses of the system have been reduced.

Increase in the flexibility of soft substructure is dependent on ensuring its lateral stability in mass isolated structures. Assuming the possibility of restriction in lateral displacements for mass subsystem through the stiff substructure, the required stability of mass subsystem can be provided. This causes increase in flexibility of the soft substructure to a level much higher than conventional structures. In this study, the stability margin of soft substructure has been investigated through a series of push over analyses by taking into account the effects of restriction in its lateral displacement through stiff substructure. In this approach, analytical relationships have been proposed to relate flexibility of the structure to its stability margin while its lateral deformation is restricted by a stiff subsystem.

In the next step, the idea of the recurrent switching is used to reduce seismic induced lateral forces to the structure in mass isolated system. In this method, the level of dashpot forces connecting the two sybsystems is continually cuts off and connects in a certain level of frequency.

In the last part of this research, it has been tried to switch the force flow between the two subsystems in the range of the natural periods of higher modes of the system. This has been done to transfer earthqua k e input energy to higher

modes of the structure in order to use their inherent damping for reducing seismic forces on the structure.

According to the results this study, in an example for a 7-story mass isolated building, its stability margin with a restricted drift limit of 2% (for collapse prevention) was arranged to be within the acceptable range of engineering practices. In this case, the flexibility of the mass subsystem in quite higher than a typical 7-story buildings ($T_1 = 3.9$ *Sec.*). Considering recurrent switching technique, it was shown that by rapid switching in the level of transferring force between the two subsystems, the level of lateral displacement in the stiff substructure has been reduced to about 25% less than that compared with the case of using normal force flow between them.

Later, it was shown in the same example by switching the force flow in the frequency range of the higher modes of the structure, the level of force transferring to the stiff substructure has been reduced by about 10% with respect to the previous case without affecting the response of the soft substructure. Also according to these results, in this case the displacement of stiff substructure has been reduced by more than 35% compared with the case where normal force flow between the two subsystems was used.

In this study, a method for designing flexible structures with restricted lateral displacement has been introduced. At the end, using the idea of recurrent switching and seismic energy transfer to the higher modes of the system seismic performances of the mass isolated structures were improved.

Keywords: Mass isolation, Structural stability, Structural control, Semi-active systems, Logical algorithm, Skyhook algorithm, Recurrent switching, Energy transfer to higher modes

تغییرمکان زیرسازه سخت را تا حدود 25% نسبت به حالت متداول استفاده از میراگرها کاهش داد. در ادامه نشان داده شد که در مسأله مورد مطالعه با قطع و وصل جریان نیرو در میراگرهای واسط، متناسب با فرکانس مودهای بالاتر سازه، تغییرمکان‌های زیرسازه سخت با حفظ نسبی پاسخ زیرسازه نرم کاهشی حدود 15% نسبت ایدهٔ اهرم فرکانسی اولیه داشته است. همچنین تغییرمکان زیرسازه سخت بیش از 35% نسبت به حالت متداول استفاده از میراگرها، کاهش داشته است.

در این تحقیق، در ابتدا روشی برای طراحی سازه‌های انعطاف‌پذیر با تغییرمکان محدود ارائه شد و سپس با استفاده از ایده اهرم فرکانسی و انتقال انرژی مودی، پاسخ‌های سازه تحت اثر بار لرزه‌ای بهبود داده شد و در نهایت روشی مؤثر برای کاهش بارهای لرزه‌ای سازه‌ها بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: سیستم جداسازی جرمی، پایداری سازه، کنترل ارتعاش سازه‌ها، کنترل نیمه‌فعال، الگوریتم منطقی، الگوریتم اسکای‌هوک، تکنیک اهرم فرکانسی، انتقال انرژی مودی