تحلیل سه بعدی تغییر مکان لرزه‌ای دیوار حائل با استفاده از روش آنالیز حدی

فرج اله عسکری
دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک askari@iiees.ac.ir

احمد حسنی پور

روش‌هایی که برای تخمین جابه‌جایی لرزه‌ای دیوار حائل به کار گرفته شده است، معمولاً نیازمند محاسبه شتاب تسلیم دیوار هستند. روش‌های برآورد این شتاب عمدتاً شامل روش‌های حدی (روش تعادل حدی، روش خطوط مشخصه و روش تحلیل حدی مرز بالا و پایین)، روش‌های عددی (روش اجزای محدود و روش اجزای مجزا) و روش‌های تجربی (آزمایش میز لرزه و سانتریفیوژ) می‌باشند. از بین روش‌های حدی، روش خطوط مشخصه و روش تحلیل حدی با توجه به حل تحلیلی مسأله از دقت خوبی برخوردارند و از این جنبه مورد توجه قرار گرفته‌اند. روش خطوط مشخصه رویکردی دقیق برای حل مسائل در ژئوتکنیک به شمار می‌رود، اما کاربرد آن در مسائلی که دارای پیچیدگی‌هایی در هندسه و یا بارگذاری باشند، دشوار است. کاربرد روش تحلیل حدی نسبت به روش خطوط مشخصه دشواری‌های کمتری دارد و به همین دلیل بیشتر موردتوجه بوده است. در این روش با فرض میدان‌های مستقل سرعت و تنش قابل‌قبول، می‌توان به ترتیب پاسخ‌های مرز بالا و مرز پایین بار گسیختگی واقعی را به دست آورد. با کاربرد هر دو روش مذکور می‌توان یک بازه برای بار گسیختگی واقعی به دست آورد و باکم کردن این بازه به پاسخ واقعی نزدیکتر شد.

تحلیل و بررسی رفتار دیوارهای حائل در برابر زلزله به دلایلی نظیر رفتار پیچیده خاک خصوصاً در اثر بارهای لرزه‌ای ناشی از زلزله، عدم‌کفایت آنالیزهای شبه استاتیکی و لزوم انجام آنالیزهای دینامیکی از مسائل مهمی است که درچند دهه اخیر مورد توجه محققان در مهندسی ژئوتکنیک قرار گرفته است. شناخت عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نگه‌دارنده خاک برای ارائه طرحی اقتصادی و همچنین کاهش خسارات ناشی از زلزله از اهمیت بسزایی برخوردار است. در شرایط لرزه‌ای، محاسبه تغییرمکان دیوارهای حائل جهت طراحی بهینه آنها نقشی تعیین کننده دارد. کارایی این دیوارها پس ازوقوع زلزله تا حد زیادی به تغییر مکان آنها در خلال زلزله وابسته است. تغییرمکان‌های بیش از اندازه نه‌تنها باعث خرابی خود دیوار بلکه باعث وارد آمدن خرابی به سازه‌های مجاور می‌شود.

در شکل (۱)، شمای کلی یکی از مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر نشان داده شده است. در این شکل، مکانیسم گسیختگی به صورت یک بلوک در پشت دیوار مدل شده است.

در این تحقیق، الگوریتمی جهت محاسبه جابه‌جایی ماندگار دیوارهای حائل در شرایط لرزه‌ای ارائه شده است. در این الگوریتم که فرمولاسیون آن بر اساس روش مرز بالای آنالیز حدی پایه‌ریزی گردیده، شتاب تسلیم برای حرکت دیوار در زمان وقوع زلزله با در نظر گرفتن چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک و نیز چسبندگی و اصطکاک بین خاک و دیوار و لحاظ کردن نیروی قائم زلزله محاسبه می‌شود. در روش پیشنهادی حاضر که درواقع توسعه پژوهش‌های انجام شده در گذشته از حالت دوبعدی به سه‌بعدی و تعمیم آنها از شیروانی به دیوار حائل است، فرمولاسیونی

Seismic Three-Dimensional Displacement Analysis of Retaining Walls by Limit Analysis Method

Faradjollah Askari
Associate Professor, Geotechnical Engineering Research Center
askari@iiees.ac.ir

Ahmad Hassanipour

The methods used to estimate the seismic displacement of retaining walls usually require the calculation of the wall yield acceleration. Methods for estimating this acceleration mainly include limit state methods (including Limit equilibrium, characteristic line, and upper and lower bound analysis methods), numerical methods (finite element method and distinct element method) and experimental methods (shaking table and centrifuge test). Among the limit state methods, the characteristic line and limit analysis methods have good accuracy due to the analytical solution of the problem and have been considered from this aspect. Characteristic line method is a precise approach for solving problems in geotechnics, but it is difficult to apply in problems that have complexities in geometry or loading. The application of the limit analysis method has fewer difficulties than the characteristic line method, and for this reason, it has received more attention. In this method, assuming independent fields of acceptable velocity and stress, the upper and lower bound values of the failure load can be obtained, respectively. By using both of these methods, you can get an interval for the actual failure load, and shortening this interval results in a closer estimation of the true failure load.

Analyzing the behavior of retaining walls against earthquakes for reasons such as complexity of soil behavior, especially due to seismic loads caused by earthquakes, inadequacy of pseudo-static analyzes and the need for dynamic analyzes are one of the important issues that have been considered by researchers in geotechnical engineering in recent decades. Understanding the seismic performance of soil-retaining structures is important to provide an economic design as well as to reduce the earthquake damages. In seismic conditions, displacement of retaining walls for optimal design plays a key role. The efficiency of walls after an earthquake depends to a large extent on their permanent displacement during an earthquake. Excessive displacement not only damages the wall itself but also the adjacent structures.

Figure (1) shows a schematic three-dimensional of one of the models used in the present study. In this figure, the failure mechanism is modeled as a block behind the wall.

In this study, an algorithm is presented to calculate the permanent displacement of retaining walls in seismic

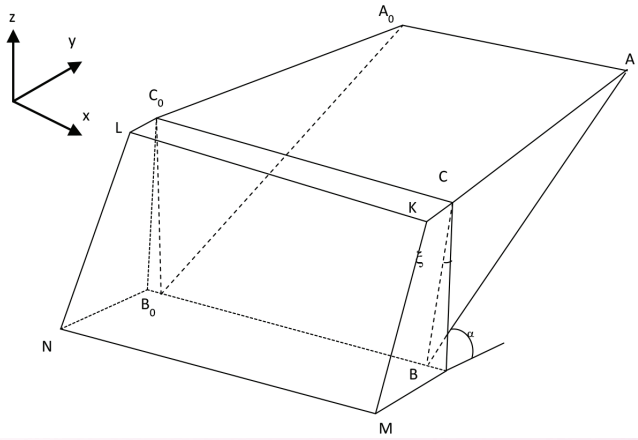
برای محاسبه شتاب تسلیم، زاویه شکست بحرانی و جابه‌جایی ماندگار دیوار حائل تحت بار زلزله پیشنهاد شده است. علاوه براین، اثر پارامترهای مختلف بر میزان جابه‌جایی مورد بررسی قرار گرفته است. در روش پیشنهاد شده، شتاب تسلیم دیوار بدست آمده و با تلفیق فرمولاسیون پیشنهادی با روش نیومارک، تغییرمکان لرزه‌ای دیوار محاسبه می‌گردد. نتایج در حالاتی خاص با دیگر محققان و با نتایج حاصل از آزمایش‌های سانتریفیوژ که برای مطالعه رفتار لرزه‌ای دیوارهای حائل وزنی انجام‌گرفته بوده‌اند مقایسه شده که صحت اعتبار الگوریتم ارائه شده را نشان می‌دهد. تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن رفتار سه‌بعدی دیوار، مقدار شتاب تسلیم افزایش یافته و متعاقباً جابه‌جایی کمتری به وجود خواهد آمد. نمونه‌ای از نمودارهای بدست آمده در تحقیق حاضر در شکل (۲) ارائه شده است. در این شکل، اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر جابه‌جایی لرزه‌ای آن در حالات دو بعدی (مقادیر L/H زیاد) و سه بعدی (مقادیر L/H کم) ملاحظه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تغییر مکان لرزه‌ای، تغییر مکان ماندگار، دیوار حائل وزنی، آنالیز حدی، مرز بالا، تحلیل سه‌بعدی

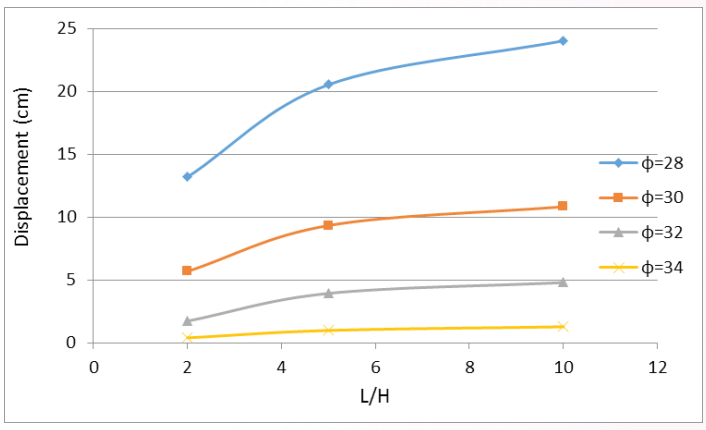
conditions. In this algorithm, the formulation of which is based on limit analysis method, the yield acceleration to move the wall during an earthquake is obtained by considering the cohesion and internal friction of the soil and the adhesion and friction between soil and wall, and the vertical component of the acceleration of the earthquake is taken into account. The proposed method, in fact, can be considered as the development of two-dimensional researches conducted in the past to three-dimensional mode and generalization of an existent method for slopes to retaining wall. In fact, a method for calculating the yield acceleration, critical failure mechanism and permanent displacement of the retaining wall under earthquake load has been proposed. In addition, the effect of different parameters on displacement of the wall has been investigated. In the proposed method, the wall yield acceleration is obtained at first and then by using a similar method as the Newmark method, the seismic displacement of the wall is calculated. The results are compared with other studies and with the results of centrifugal experiments conducted to study the seismic behavior of walls, which confirms the validity of the proposed algorithm. The analysis presented in this study shows that considering the three-dimensional behavior of the wall, the amount of yield acceleration will increase and subsequently less displacement will occur.

An instance of the diagrams obtained in the present study is shown in Figure (2). In this figure, the effect of soil internal friction angle on seismic displacement in two-dimensional (high L / H values) and three-dimensional (low L / H values) conditions is observed.

Keywords: Seismic displacement, Permanent displacement, Weight retaining wall, Limit analysis, Upper bound, Three-dimensional analysis



شکل (۱): شمای سه‌بعدی مدل تک بلوکی مورد استفاده در تحقیق حاضر



شکل (۲): تأثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر جابه‌جایی دیوار