ارزیابی پایداری لرزه‌ای خاکریزهای خاک مسلح به روش آنالیز حدی مرز بالا

فرج‌اله عسکری
دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک askari@iiees.ac.ir

پیمان درگاهی

شیروانیهای خاک مسلح از جمله سازه‌هایی می‌باشند که به عنوان محافظ درکنار جاده‌ها، تونل‌ها، پایه‌های کناری پلها، مرز سواحل و رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. شناخت عملکرد و طراحی لرزه‌ای سازه‌های خاک مسلح برای ایجاد صرفه اقتصادی در طراحی و کاهش خسارات ناشی از زلزله‌های بزرگ، اهمیت بسزایی دارد. از این رو در تحقیق حاضر تحلیل دوبعدی پایداری شیروانیهای خاک مسلح تحت بارگذاری استاتیکی و شبه استاتیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

روش مورد استفاده، روش آنالیز حدی مرز بالا است که از روش‌های بسیار کارآمد برای بررسی مسائل پایداری در مکانیک خاک می باشد. در این تحقیق، از بلوک‌های لایه‌ای برای تشکیل مکانیزم گسیختگی استفاده شده که هر بلوک شامل یک لایه مسلح کننده از جنس ژئوسینتتیک می‌باشد، شکل (۱).

توزیع مسلح‌کننده در ارتفاع شیروانی به صورت یکنواخت و طول آنها ثابت در نظر گرفته شده است که این امر باعث ساده‌سازی فرمولاسیون و سهولت اعمال شتاب‌های ناشی از زلزله می‌گردد. در کنار مکانیزم فوق، برای کنترل لغزش از سیستم دو بلوکی، از نوع بلوک‌های پنج‌وجهی یا شش‌وجهی، استفاده گردیده است، شکل (۲).

مقاومت مسلح‌کننده‌ها بر این مبنا که طول آنها کافی و همگی در زمان ناپایداری به حالت ظرفیت کششی نهایی خود می‌رسند، محاسبه شده است. از سوی دیگر، طول مسلح‌کننده‌ها با در نظر گرفتن امکان ایجاد مکانیسم‌هایی که بخشی از مسلح‌کننده‌ها قبل از گسیختگی کششی و بدلیل عدم کفایت زاویه اصطکاک میان مسلح‌کننده‌ها و خاک از توده خاک بیرون کشیده می‌شوند محاسبه شده است، شکل (۳).

بر مبنای موارد فوق، الگوریتمی تدوین شده که با مدل کردن توده‌های لغزش و بهینه‌سازی آنها، مقدار و طول مسلح‌کننده‌ها را بازای ضریب اطمینان‌های مختلف محاسبه می‌کند. همچنین الگوریتم تدوین شده، به منظور برآورد ضریب اطمینان پایداری شیروانیهای خاک مسلح موجود برای هر دو نوع مکانیزم گسیختگی تعمیم داده شد.

مقایسه نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج حاصل از نرم‌افزار المان محدود Plaxis 2D و همچنین نتایج تحقیقات سایر محققین، بیانگر صحت و کارآمدی نتایج روش مورد استفاده بوده است. در نهایت تحلیل‌های متعددی بر روی شیروانیهای خاک مسلح در حالت کرنش مسطح و با در نظر گرفتن شرایط استاتیکی و شبه استاتیکی انجام گرفت و نتایج بدست آمده به صورت نمودارهای بدون بعد و بازای پارامترهای مختلف هندسی، مقاومتی و ضریب اطمینان ارائه شد، به عنوان نمونه، شکل (۴).

این نمودارها تأثیر پارامترهای هندسی شیروانی، پارامترهای مقاومتی خاک و ضرایب زلزله را بر روی ضریب اطمینان پایداری شیب در حالت شبه استاتیکی نشان می‌دهند.

Seismic Evaluation of Reinforced Embankments by Upper Bound Limit Analysis

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

Peyman Dargahi

Use of reinforced soil structures in foundation engineering has become an accepted practice in the last three decades, using physical, analytical and numerical techniques. To date, the theoretical approach is the most widely used to analyze seismic stability of reinforced earth structures. In the last few years, several analytical methods have been formulated and some parametric studies have been carried out to show the importance of the main design parameters.

The analytical approaches are widely used to analyze the stability of reinforced slopes, although the numerical approach may certainly be more comprehensive to analyze the performance of soil structures subjected to seismic loading. It is because the use of numerical methods usually requires high numerical costs and accurate measurements of the properties of the component materials, which are often difficult to achieve. In addition, further difficulties arise with modeling failure in frictional materials. The use of this method is not very attractive for current applications.

The most common analytical method used for design of reinforced structures is the ‘limit equilibrium’. Different algorithms by this approach have been proposed for seismic analysis of geosynthetic-reinforced soil structures based on pseudo-static limit equilibrium and internal and external stability analyses have been conducted to determine the required strength and length of the reinforcement.

This report focuses on reinforced slopes; in particular, the required strength and length of the reinforcement to avoid collapse during seismic events by consideration of a certain factor of safety (FS).

In the present study, seismic analyses of reinforced embankments under static and pseudo-static loading are studied by upper bound limit analysis method. The kinematic approach of limit analysis, with a quasi-static seismic force in the horizontal direction, is used to arrive at reinforcement strength and length. Limit analysis has mainly been applied to reinforced soils in the last two decades. The theorems of limit analysis (upper and lower bounds) constitute a powerful tool to find the limit loads for different stability problems. The upper bound theorem states that the ‘rate of work done by traction and body forces is less than or equal to the rate

واژه‌های کلیدی: شیروانی خاک مسلح، گسیختگی کلی، ضریب اطمینان، لغزش مستقیم، تحلیل حدی مرز بالا، اجزاء محدود

of energy dissipation in any kinematically admissible failure mechanism'.

Formulation is derived based on two main mechanisms:

(a) Horizontal layer blocks, which were employed to establish the failure mechanism in order to simplify the formulation and facilitate the exertion of earthquake accelerations. The applied mechanism consists of several laminar blocks and one triangular (pentagonal) block at the bottom for overall failure mechanism, Figure (1).

(b) Two pentagonal blocks for direct sliding mechanism, Figure (2).

Each slice contains a geosysnthetic reinforcement layer. The distribution of the reinforcement in embankment height is considered to be homogenous with fixed length. Calculations were performed assuming the Mohr-Coulomb failure criterion for the soil.

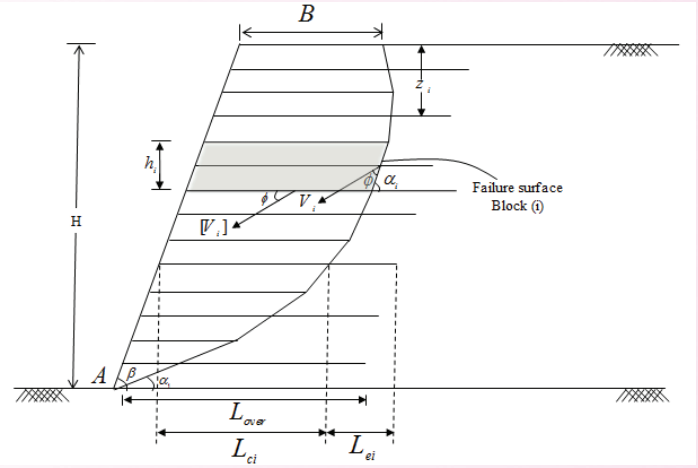
Required reinforcement strength was calculated assuming the reinforcement fails by plastic flow referred to as tensile rupture. This may happen when the reinforcement length is sufficient. The length of the reinforcement was calculated based on collapse mechanisms shown in Figure (3), which include rupture in some layers and pullout in others. For each mechanism, a nonlinear equation was optimized.

The results of this study are compared with other researchers and the results obtained by Plaxis finite element software, which was very satisfying.

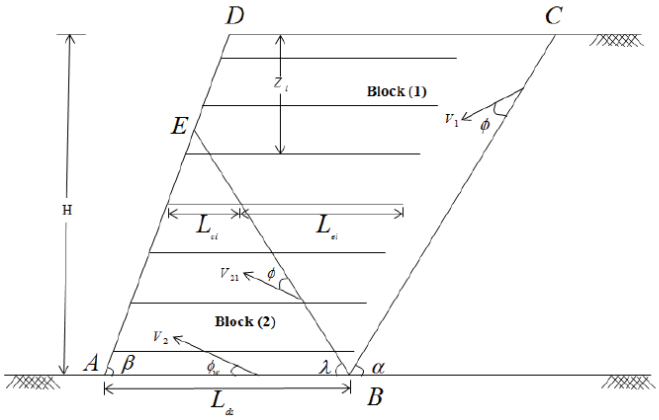
Eventually, the results that obtained in this study were presented as dimensionless charts, which can be used in design and to evaluate the effect of different parameters such as geometrical parameters of a slope, soil strength characteristics, and seismic coefficient on the stability of the reinforced soil slopes (for instance, Figure (4). In addition, these results are applicable to walls, although design of walls requires consideration of additional failure modes not presented here.

The calculations carried out by the pseudo-static approach indicate that both reinforcement force and length increase with an increase in seismic force. In other words, for large values of the seismic coefficient, the design of reinforced soil structures would be too expensive. Further studies would be performed for these circumstances in order to reduce the amount of the reinforcement considering that the structure would experience permanent displacement during earthquakes.

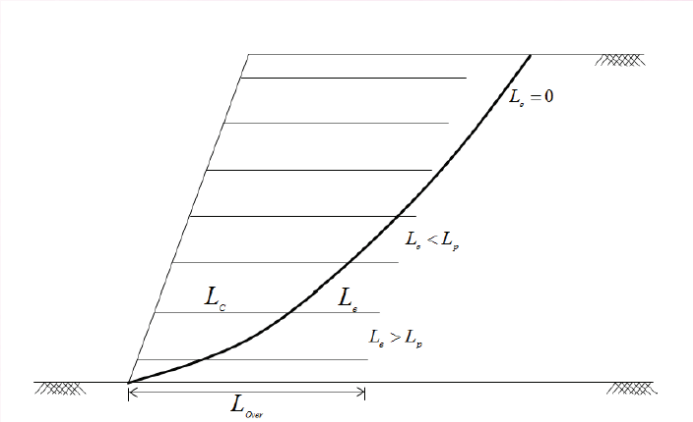
Keywords: Reinforced soil slopes, Overall failure, Safety factor, Direct sliding, Limit analysis, Upper bound, reinforcement strength, Reinforcement length



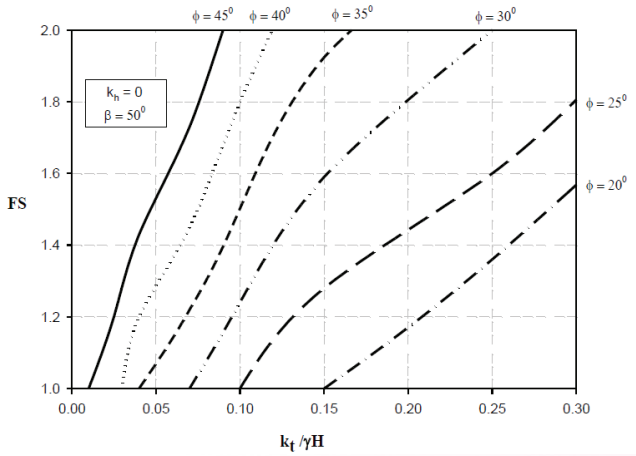
شکل (۱): بلوک‌های لایه‌ای مورد استفاده در این تحقیق برای تشکیل مکانیزم گسیختگی



شکل (۲): مکانیزم مورد استفاده جهت کنترل لغزش



شکل(۳): نمونه‌ای از یک مکانیسم که بخشی از مسلح‌کننده‌ها قبل از گسیختگی کششی از توده خاک بیرون کشیده می‌شوند



شکل (۴): نمونه‌ای از نمودارهای بدون بعد جهت بررسی اثر پارامترهای مختلف هندسی، مقاومتی و ضریب اطمینان