



تحلیل لرزه ای دیوارهای میخکوبی شده و بررسی اثر مشخصات هندسی میخها و پارامترهای خاک بر پایداری آنها

محمد حسین باقری پور^۱، شکوه مشکین فر^۲
۱- بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

Email: shokooh_far@yahoo.com

خلاصه

در این مقاله با استفاده از نرم افزار FLAC به بررسی رفتار دینامیکی دیوارهای میخکوبی شده پرداخته میشود. با توجه به عدم وجود مدل‌های مناسب جهت پیش بینی مناسب عملکرد دیوارهای میخکوبی در مقابل زلزله، اثر شتاب ورودی بر پاسخ دینامیکی و لرزه ای این نوع حائلها بررسی می شود. همچنین بر این اساس به ارزیابی توزیع تنشهای اصلی در شرایط استاتیکی و دینامیکی پرداخته شده است. در نهایت تاثیر پارامترهای مختلف طراحی در نیروهای کششی ایجاد شده در میخها تحت بار لرزه ای مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: دیوارهای میخکوبی، تحلیل لرزه ای، تسلیح، مطالعه پارامتریک، FLAC.

مقدمه

میخکوبی خاک یکی از روشهای مسلح کردن خاک با استفاده از میلگردهای فولادی نزدیک به هم در داخل یک شیب یا گودبرداری همزمان با ساخت از بالا به پایین می باشد. اثرات سودمند میخکوبی خاک ناشی از دو پدیده افزایش مقاومت کششی و مقاومت برشی به وجود آمده به علت اصطکاک موجود در سطح تماس خاک و مسلح کننده ها (میخها) می باشد [۱]. دیوارهای میخکوبی به دلیل انعطاف پذیری، سرعت، سهولت اجرا و اقتصادی تر بودن نسبت به دیگر سیستم های پایدار سازی طی سه دهه اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته اند. اجزا اصلی یک سیستم میخکوبی شامل خاک محل، میخهای مقاوم کششی و رخیوش یا المان نگهبان سازه ای می باشد.

اکثر مطالعات انجام شده برای آنالیز و طراحی دیوارهای میخکوبی شده توسط اداره بین المللی راه آمریکا (FHWA) و غالباً بر مبنای آنالیز تعادل حدی صورت گرفته است [۲].

روشهای تحلیل پایداری شیبهای مسلح بر اساس آنالیز تعادل حدی با در نظر گرفتن مقاومت برشی خاک و مقاومت ازجا درآمدگی میخها در طول سطح گسیختگی، پایداری کلی توده خاک میخکوبی را تخمین می زند و قادر به محاسبه نیروهای برشی و کششی ایجاد شده در میخها نبوده و نمی توانند پایداری موضعی میخها را مورد بررسی قرار دهند. به منظور بررسی نیروهای کششی موجود در میخها مشاهدات عینی بر روی مدل‌های واقعی و آزمایشگاهی دیوارهای میخکوب شده انجام گرفته است [۳]. بر اساس این آزمایشات، عمق حفاری تاثیر ناچیزی بر روی نیروهای کششی در میخها و هندسه ناحیه فعال شده دارد. همچنین مشاهده شده که ماکزیمم نیروی محوری در انتهای دیوار با دیگرامهای فشار جانبی برای حفاری های مهار شده با ماکزیمم فشار افقی $0.2 \gamma H$ مطابقت دارد. به دلیل عملکرد بسیار مناسب و انعطاف پذیری دیوارهای میخکوب شده در حین حرکت زمین نسبت به دیوارهای حائل وزنی روش تحلیل این سیستمها تحت نیروی زلزله احساس می شود. مطالعات انجام شده برای بارهای لرزه ای غالباً بر مبنای روشهای شبه استاتیکی می باشد. از آن جمله روش شبه استاتیکی مونوبه - اکابه می باشد. بر اساس این نظریه در خلال زلزله، گوه گسیختگی برشی در داخل ناحیه مسلح ظاهر می شود، ولی صفحه گسیختگی برشی در داخل دیوار میخکوبی شده تحت تاثیر حرکت زمین یک گوه لغزشی ایجاد شده از دو قسمت است که شامل ناحیه مسلح شده و قسمت خارج از آن میباشد [۴]. در صورت وجود سربار در هنگام تحریک زمین جایجایی سازه افزایش می یابد، لذا انتخاب ضریب زلزله تنها بر پایه شتاب حداکثر زمین مناسب نبوده و لازم است پارامترهای مختلف (فرکانس، شدت، مدت) در نظر گرفته شود [۵]. در مقاله حاضر با استفاده از روش تفاضل محدود پس از تحلیل استاتیکی

^۱ استادیار بخش مهندسی عمران

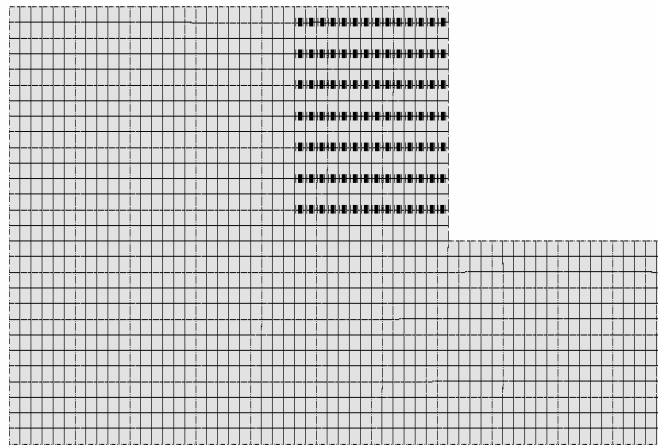
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی



دیوارهای خاکی میخکوبی شده، آنالیز دینامیکی تحت شتاب هارمونیک انجام گرفته است و اثر پارامترهای مختلف طراحی نظیر زاویه میخکوبی و مشخصه های مقاومت برشی خاک بر روی نیروی کششی ایجاد شده در میخها مورد بررسی قرار می گیرد.

تعریف مساله مورد تحقیق ومدلسازی

به منظور بررسی رفتار دیوارهای میخکوبی شده از نرم افزار FLAC در شرایط دو بعدی که بر مبنای روش تفاضل محدود بوده و برای شبیه سازی محیطهای خاکی، سنگی و یا مواد دیگری که در زمان تسلیم ممکن است به حالت پلاستیک برسند استفاده شده است. برای شبیه سازی محیط خاکی از مدل رفتاری الاستیک خطی، بر پایه معیار گسیختگی موهر- کلمب استفاده شده است. میخها به وسیله المانهای الاستوپلاستیک کابل با مقاومت فشاری ناچیز مدل گشته است. همچنین اندرکنش خاک و مسلح کننده ها بصورت سیستم فنرهای لغزنده از نقاط گرهی مدل شده است. برای مدل کردن رخیوش شاکریت از المانهای خطی الاستیک تیر استفاده شده است. در تحلیل مدل از حالت کرنش بزرگ استفاده گردیده تا در صورت ایجاد تغییرشکلهای بزرگ در خاکریز چگالی خاک نیز اصلاح شود. در تحلیل های دینامیکی از میرایی رایلی استفاده شده است [۶].

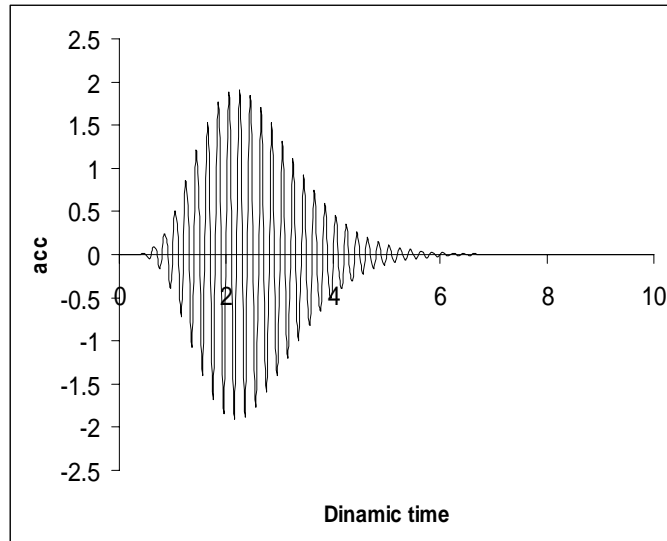


شکل ۱- مش تفاضل محدود دیوار میخکوبی شده

برای آنالیز دینامیکی و مطالعه پارامتریک شتاب بارگذاری هارمونیک (سینوسی) بصورت یک مولفه افقی به نقاط پایین مدل وارد می شود. این شتاب در حالی که سیستم اعمال می شود که در حالت استاتیکی به تعادل رسیده باشد. شتاب در نظر گرفته شده برای این دیوار موجی است با دامنه متغیر که معادله ریاضی شتاب ورودی آن به صورت زیر است [۷].

$$\ddot{u} = \sqrt{\beta e^{\alpha t^{\xi}}} \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

که در آن $\alpha = 5.5$ و $\beta = 55$ و $\xi = 12$ مقادیر ثابت فرضی میباشند. f فرکانس شتاب ورودی و t زمان آنالیز دینامیکی می باشد. فرکانس انتخاب شده در حدود فرکانسهای اصلی سیستم می باشد. در شکل (۲) شتاب نگاشت مذکور به نمایش در آمده است.

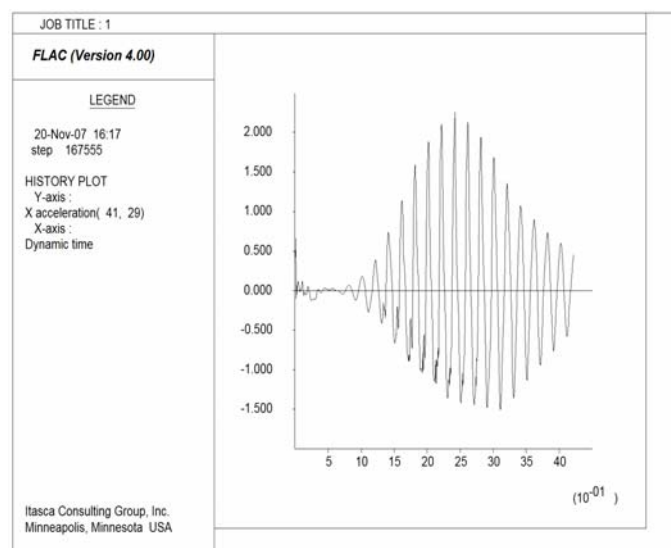


شکل ۲- شتاب نگاشت اعمالی به دیوارهای میخکوبی شده

مشخصات خاک در حالت کلی شامل چگالی 20 KN/m^3 مدول الاستیسیته برابر 50 Mpa ضریب پواسون 0.3 و بدون چسبندگی با زاویه اصطکاک داخلی برابر 38° می باشد. میخهای مورد استفاده تنش تسلیم 460 Mpa ، قطر 25 میلیمتر، مدول الاستیسیته $4.4 \times 10^{10} \text{ Mpa}$ و طولی برابر 0.7 ارتفاع دیوار دارند. همچنین میخها در فواصل 1 متر از یکدیگر در راستای قائم و با زاویه صفر نسبت به افق واقع شده اند. پوشش رخپوش شاکریت از نوع بتن با ضخامت 10 سانتیمتر انتخاب شده است که دارای مدول الاستیسیته $3.32 \times 10^7 \text{ Kpa}$ ، ممان اینرسی $3.32 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ و چگالی 24 KN/m^3 می باشد. برای انتخاب پارامترهای فوق مصالح متداول در ساخت و ساز های دیوار میخکوبی در نظر گرفته شده است.

بررسی و تحلیل پاسخ دینامیکی دیوار در برابر شتاب اعمال شده:

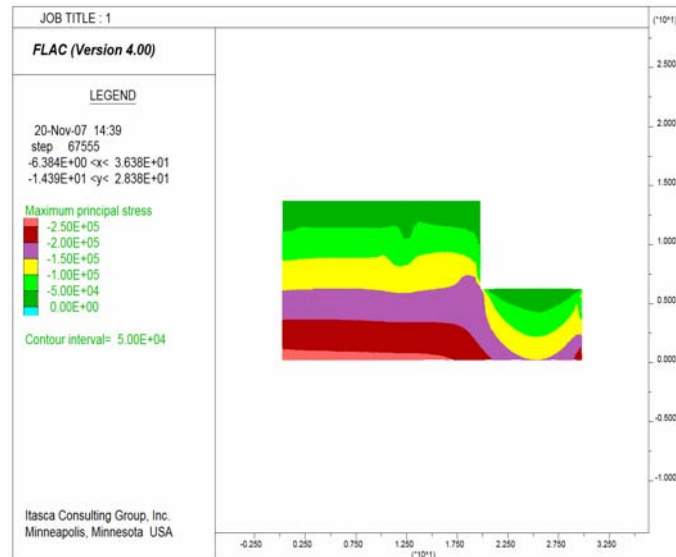
در تحقیق حاضر محاسبات و تحلیل های متعددی از جنبه های مختلف صورت گرفت که حجم نتایج بسیار زیاد و قابل توجه بوده است که در حوصله مقاله نمی گنجد. لذا در این مقاله تنها به برخی از نتایج مهم بدست آمده بصورت فهرست وار اشاره شده است: الف) در تمام شرایط محاسباتی طیف تاریخچه شتاب القا شده در تاج دیوار به دست آمد. تاریخچه شتاب افقی ایجاد شده در تاج دیوار میخکوبی شده به ارتفاع 7 متر در شکل (۳) نشان داده شده است. این نتایج نشان میدهد که حداکثر شتاب پاسخ در تاج در مقایسه با شتاب حداکثر ورودی تقویت شده است که این امر میتواند ناشی از مشخصه موج ورودی و نوع مدل رفتاری مصالح دیوار میخکوبی باشد.



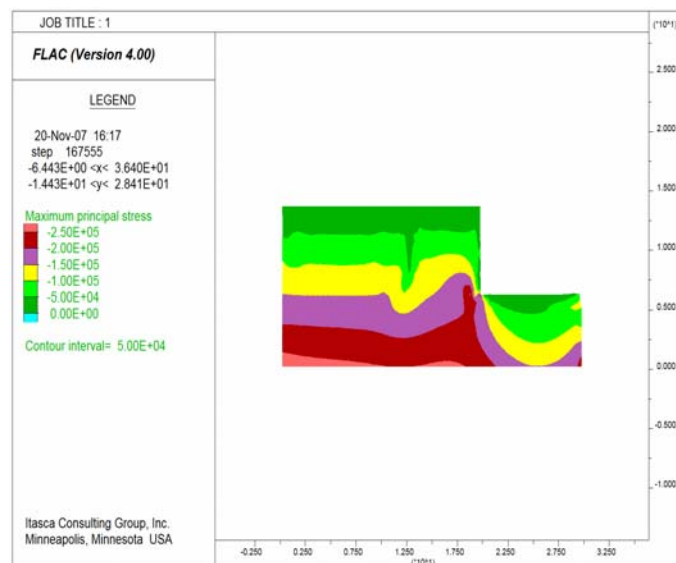
شکل ۳- تاریخچه شتاب افقی در تاج دیوار میخکوبی شده در برابر شتاب وارده



ب) در پشت توده پدیده ای مانند قوس شدگی که در سدهای خاکی مشاهده می شود، تغییراتی را در توزیع تنش ایجاد کرده است. این پدیده به علت اختلاف نشست مصالح پشت توده و داخل آن می باشد. به عبارت دیگر به علت وجود میخها و تراکم داخل توده خاک قسمت میخکوبی شده دارای مقادیر کمتری نشست می باشد. نتیجه این پدیده کاهش فشار قائم در داخل توده و افزایش فشار قائم در پشت توده خاک مسلح است که بر توزیع تنشهای اصلی در شکل (۴) موثر است. در شرایط دینامیکی این پدیده شدیدتر است.



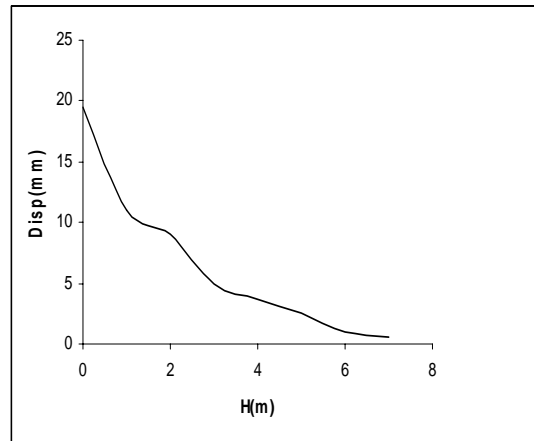
شکل (الف)



شکل (ب)

شکل ۴- توزیع تنش اصلی مدل عددی در شرایط الف) استاتیکی ب) دینامیکی

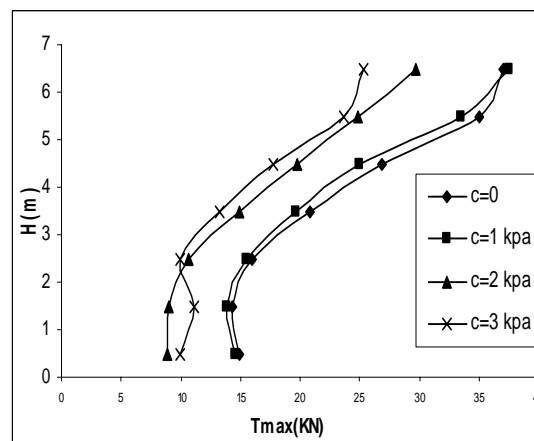
پ) همانطور که انتظار می رود و در شکل (۵) نشان داده شده است بیشترین جابجایی افقی نسبی مربوط به قسمت بالای دیوار می باشد که به تدریج در قسمت‌های پایین دیوار کاهش می یابد.



شکل ۵- تغییر شکل افقی نسبت به ارتفاع دیوار

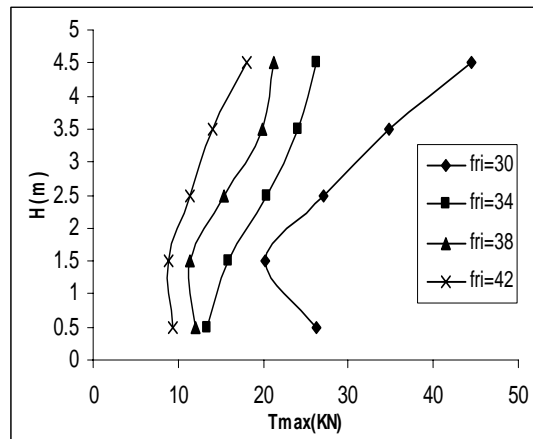
ارزیابی پارامتری مدل تحت بارگذاری لرزه ای:

در کنترل پایداری داخلی یک دیوار خاک مسلح برای جلوگیری از گسیختگی کششی میخها باید نیروی کششی ماکزیمم (T_{max}) به وجود آمده در آنها کمتر از نیروی کششی مجاز باشد. در مطالعات انجام شده اثر پارامترهای مختلف بر روی ماکزیمم نیروی کششی میخها مورد بررسی قرار گرفته است. اثر چسبندگی خاک: در مدل مورد نظر چسبندگی خاک دیوار میخکوبی شده از 0 تا 3Kpa تغییر داده شده است. در شکل (۶) تغییرات نیروی کششی ماکزیمم (T_{max}) نسبت به ارتفاع دیوار تحت بار لرزه ای برای چسبندگی های مختلف ترسیم شده است. از این منحنی مشخص است که با افزایش چسبندگی نیروی کششی ماکزیمم در میخها کاهش می یابد.



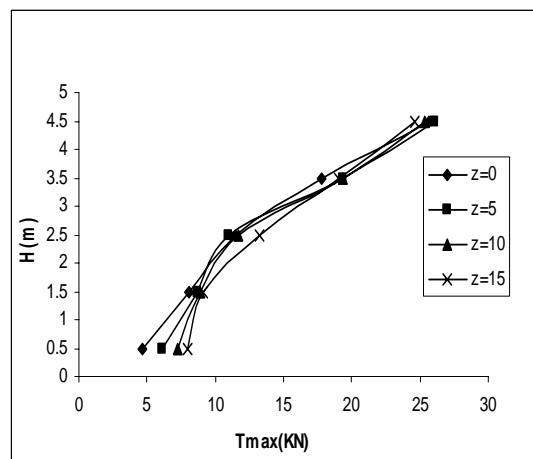
شکل ۶- تغییرات T_{max} با H برای مقادیر مختلف چسبندگی

ب) اثر زاویه اصطکاک داخلی: در شکل (۷) تغییرات نیروی کششی ماکزیمم مسلح کننده ها نسبت به ارتفاع دیوار برای زوایای اصطکاک داخلی از 30° تا 42° با گام های 4 درجه ترسیم شده است. از این شکل ملاحظه می شود که افزایش زاویه اصطکاک خاک باعث کاهش نیروی ماکزیمم در میخها می شود.



شکل ۷- تغییرات $T(\max)$ با H برای مقادیر مختلف اصطکاک داخلی

پ) تاثیر زاویه میخکوبی: اثر زاویه میخکوبی از صفر تا 15 درجه بر ماکزیمم نیروی کششی ایجاد شده در میخها نشان داده شده است. با توجه به شکل (۸) می توان دریافت که این نیروها با افزایش زاویه میخکوبی تغییر چندانی نخواهند داشت.



شکل ۸- تغییرات $T(\max)$ با H برای مقادیر مختلف زاویه میخکوبی

نتیجه گیری

- مدل تشریح شده در قسمت قبل بر اساس مشخصات ارائه شده تحت بارگذاری هارمونیک تحلیل عددی شد و با استفاده از مطالعه پارامتریک عوامل موثر بر پایداری موضعی میخها تحت شتاب اعمال شده ارزیابی شده است. جمع بندی نتایج حاصل از این مطالعات عبارتند از:
- ۱- با توجه به مطالعات انجام شده و شتاب نگاشت های اعمالی که بررسی آنها خارج از بحث مقاله بوده و تنها به نتایج آن بسنده کرده مشاهده شد پاسخ لرزه ای دیوار میخکوبی شده تا حدود بسیار زیادی به مشخصات شتاب وارده بستگی دارد. در مواردی که فرکانس غالب موج ورودی در حدود فرکانس طبیعی دیوار باشد شتاب در ارتفاع دیوار تقویت می شود.
 - ۲- بر اساس توزیع تنشهای اصلی مشاهده می شود پدیده قوس در پشت توده دیوار خاک میخکوب شده به خصوص در شرایط دینامیکی باعث افزایش در تنشهای اصلی پشت توده شده است که در تراز میانی شدت بیشتری دارد.
 - ۳- پس از اعمال بار لرزه ای و رسیدن به شرایط تعادل می توان پذیرفت جابجایی افقی نسبی در قسمت بالای دیوار بیشترین مقدار را دارد. این جابجایی به سمت پایین دیوار کاهش می یابد.
 - ۴- افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک باعث کاهش نیروی کششی در میخها می شود.
 - ۵- با مطالعه اثر پارامتر چسبندگی دیده شد که افزایش این پارامتر باعث کاهش نیروی کششی در میخها می شود.
 - ۶- با افزایش زاویه میخکوبی نسبت به افق در نیروی کششی میخها تغییرات قابل ملاحظه ای مشاهده نمی شود.



مراجع

- 1.Fang, H.Y.(1992) Foundation Engineering Handbook. 2nd Edition, Chapman & Hall, 868-905.
- 2.Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C. and Ueblacker, G. (1998) Manual for design and construction monitoring of soil nail wall. FHWA-SA-96-069 R, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 3.Juran, I., Baundrand, G., Farrang, K. and Elias,V. (1990) .Kinematical limit analysis for design of soil nailed structures. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, **116**(1), 54-72.
- 4.Hatami, K. (2003) Seismic analysis and design of reinforced soil retaining wall. Journal of Material Science & Engineering, 37-45.
- 5.George, K.P., Blal, A.M. (2000) Finite element analysis of reinforced soil retaining walls subjected to seismic loading. Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland.
- 6.FLAC s Manual, Itasca Consulting Group, Inc , Minneapolis , Minnesota 55415,USA.
- 7.Bathurst, R.J., Hatami, K. (1999) Earthquake response analysis of reinforced soil walls using Flac and numerical modeling in geomechanics. 273-297.