ISSN: 2821-1553 htpps://www.jasd.khadu

فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))

دوره ۱، شماره ۴، اسفند ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

بررسی پایداری و تغییر شکل دیوارهای خاکی مسلح شده با ژئوسنتتیک تحت بار انفجار با رویکرد پدافند غیرعامل

علیرضا مرادی صالح[۱]، مهران حسنی[۲]، حسن صالحی [۳]

۱. کارشناس ارشد پدافند غیرعامل، عضو هیئت علمی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)، تهران، ایران

۲. کارشناس ارشد عمران-ژئوتکنیک، پژوهشکده علوم پدافندی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص)، تهران، ایران

۳. دکترای عمران، عضو هیئت علمی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص)، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱ /۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

کلمات کلیدی:

دیوار خاکی مسلح، بارگذاری انفجار، ژئوسنتتیک‌ها، نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS

نویسنده مسئول:

علیرضا مرادی صالح

ایمیل:

amoradisaleh@yahoo.co.uk

چکیده

با توجه به موقعیت حساس کشور و تهدیدهای پی در پی و همچنین چندین اقدام تروریستی در سال‌های آتی نیاز به پدافند غیر عامل در هر زمان دیگری احساس می شود. لذا در این مواقع نیاز به محافظت از منابع حساس امری ضروری است. ژئوسنتتیک‌ها از جمله مصالح نوین و کارآمدی هستند که در عین سادگی و اجرای سریع بدون نیاز به تجهیزات و افراد متخصص در ترکیب با خاک به‌عنوان دیوارهای محافظ عملکرد خوبی حتی نسبت به سازه‌های زمان‌بر و پرهزینه و وقت‌گیر از خود نشان می‌دهند. در این تحقیق تمرکز بر روی تغییر شکل دیوار خاکی مسلح، در برابر انفجار می‌باشد. پس از بررسی مدل، توسط نرم‌افزار ژئوتکنیکی Geostudio/Slope/w در حالت تعادل استاتیکی، تغییر شکل‌های دیوار توسط نرم‌افزار اجزاء محدود Abaqus/3D با استفاده از مدل رفتاری موهرکولمب انجام شد. هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر وجود ژئوسنتتیک بر روی تغییر شکل دیوار خاکی مسلح در برابر انفجار می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصلهٔ انفجار از دیوار تغییر شکل‌های دیوار کاهش پیدا می‌کند، اما نکته قابل‌توجه نرخ این کاهش تغییر شکل می‌باشد که با افزایش فاصلهٔ انفجار از دیوار خاکی افزایش پیدا می‌کند.

استناد به مقاله: علیرضا مرادی صالح، مهران حسنی، حسن صالحی، بررسی پایداری و تغییر شکل دیوارهای خاکی مسلح شده با ژئوسنتتیک تحت بار انفجار با رویکرد پدافند غیرعامل ، مجله علمی دفاع هوافضایی، دوره ۱، شماره ۴، اسفند ۱۴۰۱.

ISSN:2821-1588 htpps://www.jasd.khadu

Journal of Aerospace Defense
Vol. 1, No, 4, 1401

Research Paper

Investigation of stability and deformation of earthen walls reinforced with geosynthetics under explosion with passive defense approach

Alireza Moradi Saleh[1] , Mehran Hasani[2], Hasan Salehi[3]

1. Master of Passive Defense, Faculty Member of Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran, Corresponding.
2. Master of Civil Engineering-Geotechnics, Research Institute of Defense Sciences, Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran.۳
3. PhD in civil engineering, Faculty Member of Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran.

Article Information

Accepted: 1401/11/15

Recceived:1401/07/18

eywords:

Reinforced earth wall, blast loading, geosynthetics, ABAQUS.

Corresponding anuthor:
Alireza Moradi Saleh
Email:
amoradisaleh@yahoo.co.uk

Abstract

Given the sensitive situation of the country and the successive threats, as well as several terrorist acts in the coming years, the need for passive defense is felt at any other time. Therefore, in these cases, the need to protect sensitive resources is essential. Geosynthetics are among the new and efficient materials that, while simple and fast implementation without the need for equipment and specialized people in combination with soil as protective walls, show good performance even compared to time-consuming, costly and time-consuming structures. In this study, the focus is on the deformation of the reinforced earth wall in the face of an explosion. After examining the model by Geostudio / Slope / w geotechnical software in static equilibrium mode, wall deformations were performed by 3D / Abaqus finite element software using MohrColumb behavioral model. The aim of the present study was to investigate the effect of geosynthetics on the deformation of reinforced earth walls against explosion. The results showed that with increasing the distance of the explosion from the wall, the deformations of the wall decrease, but the remarkable point is the rate of this deformation reduction, which increases with increasing the distance of the explosion from the earth wall.

HOW TO CITE: Alireza Moradi Saleh , Mehran Hasani, Hasan Salehi, Investigation of stability and deformation of earthen walls reinforced with geosynthetics under explosion with passive defense approach, Journal of Aerospace Defense. Vol. 1, No, 4, 1401.

۱. مقدمه

روش تسلیح خاک برای دیوارهای نگهبان برای اولین بار توسط معمار فرانسوی در اوایل دهه ۱۹۶۰ انجام گرفت. استفاده از ژئوتکستایل در تسلیح دیوارهای حائل پس از استفاده سودمند این نوع از مصالح به‌عنوان مسلح‌کننده در ساخت خاکریزهای واقع بر بستر ضعیف، رایج گردید. از ژئوتکستایل در پایداری دیوارهای حائل برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ در کشور فرانسه استفاده گردید.

دیوارهای خاکی مقاوم شده با مسلح کننده‌ها (RS) سازه‌های نگهبانی هستند که قابلیت تحمل تغییر شکل‌های بزرگتری نسبت به دیوارهای بتنی مسلح دارند. به عبارتی با قرار دادن عناصر مسلح‌کننده درون توده خاک، مقاومت آن افزایش یافته و پایدار می‌شوند. در این حالت با استفاده از سیستم نمادگذاری همانند بلوک‌های سبک بتنی، ژئوتکستایل‌ها و یا شاتکریت می‌توان دیوارهای با ارتفاع زیادی را با ضریب اطمینان مناسب ایجاد نمود.

در هنگام جنگ، مواد منفجره به طور وسیعی به‌عنوان یک سلاح نیرومند برای تخریب سازه‌ها و استحکامات نظامی و همچنین از پا در آوردن نیروی انسانی به‌کار می‌روند. یکی از اصلی‌ترین روش‌های حفاظت جان و مال انسان‌ها در برابر نیروی مخرب ناشی از انفجار، قراردادن سازه‌های محافظ در اطراف یا جلوی اهداف موردنظر می‌باشد. سازه‌های محافظ با مواد مختلفی ساخته می‌شوند که در میان آن‌ها استفاده از فولاد و بتن مسلح به طور گسترده‌ای رایج می‌باشد. سازه‌های خاکی مسلح نیز به دلیل قابلیت تحمل تغییر شکل‌های غیریکنواخت و عدم فروپاشی در هنگام گسیختگی کاربرد زیادی یافته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به سازه‌های خاکی مسلح‌شده با ژئوسنتتیک که کارایی خود را در کاربردهای حفاظتی نشان داده‌اند، اشاره کرد. این سازه‌ها به دلیل هزینه اقتصادی مناسب، سرعت اجرای بالا، نیاز به خاکبرداری کم در زیر سطح زمین و قابلیت تحمل تغییر شکل‌های غیریکنواخت دارای مزایای زیادی در کاربردهای نظامی می‌باشند. با توجه به آن‌که تحقیقات قبلی در خصوص سازه‌های محافظ عموماً در مورد اجزای فولادی و بتن مسلح بوده است، اطلاعات محدودی در مورد پاسخ دینامیکی سازه‌های خاکی مسلح در برابر بار انفجار وجود دارد.

۲. ادبیات نظری و پیشینه پژوهش

Ng عملکرد یک دیوار خاک مسلح ساخته شده با ژئوتکستایل را در یک آزمایش تمام مقیاس در برابر بار انفجار بررسی کرد. در این آزمایش مشاهده شد که به دلیل قابلیت تغییرشکل‌پذیری زیاد دیوار خاک مسلح از انتشار امواج فشاری انفجار تا حد زیادی جلوگیری می‌شود. در سال ۲۰۰۲ میلادی یک پروژهٔ تحقیقاتی بین دانشگاه ملی سنگاپور و وزارت دفاع سنگاپور برای شناسایی عملکرد واقعی دیوارهای RS در برابر بارگذاری انفجار آغاز شد. تمرکز اصلی این تحقیق بر انفجارهای با مقیاس بزرگ در محدودهٔ ۵ تا ۲۷ تن از مواد منفجره و هدف اصلی آن مطالعهٔ رفتار دینامیکی دیوارهای RS و بررسی کارایی ژئوسنتتیک در تسلیح توده خاک به منظور کاهش فشار انفجار و ضربه وارده بوده است. این آزمایشات میدانی در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ میلادی در

صحرای وومرای استرالیا انجام شده و در طی آن‌ها ۱۱دیوار RS در مقیاس واقعی ساخته شده و در برابر بارگذاری انفجار قرار گرفتند. در این آزمایشات به منظور پایش وضعیت دیوارها قبل، حین و پس از انفجار، از ابزاربندی دقیقی استفاده شده و عملکرد آن‌ها تا حدود زیادی مورد بررسی قرار گرفت.

در سال ۲۰۰۸ میلادی مدل‌سازی عددی برخی از دیوارهای مورد آزمایش در این پروژه تحقیقاتی انجام گردید. برای تعیین فشار هوای انفجار روی دیوار و همچنین بررسی عملکرد کلی دیوار از نرم‌افزار AUTODYN و برای تعیین تنش‌ها و تغییرشکل‌های به وجود آمده در دیوار از نرم‌افزار Plaxisاستفاده گردید. تحقیق صورت گرفته نشان داد که مقادیر واقعی تنش‌ها و تغییرشکل‌های اندازه‌گیری شدهٔ دیوار در برابر بار انفجار با مقادیر مدل‌سازی عددی بدست آمده در Plaxis تطابق خوبی دارند. در حوزهٔ مهندسی عمران، مدل‌های فیزیکی همواره هزینه‌بر بوده و جمع‌آوری اطلاعات نیازمند زمان زیادی می‌باشد. به علاوه آزمایشات میدانی انفجار، مخرب و بسیار گران هستند. بنابراین تعداد محدودی آزمایش قابل انجام بوده و در برخی موارد سیگنال‌های دیجیتالی به دلیل شرایط نامناسب سیستم جمع‌آوری داده در حین انفجار، به سختی قابل دریافت هستند. بنابراین مدل‌سازی عددی برای شناسایی دقیق‌تر سازوکار دیوارها تحت بارگذاری انفجار بسیار سودمند به نظر می‌رسد. در این تحقیق به مدل‌سازی عددی دیوار خاکی مسلح شده با ژئوسنتتیک در فواصل مختلف از ماده منفجره، پرداخته خواهد شد. به منظور صحت سنجی مدل از نتایج آزمایش میدانی صورت گرفته در سال ۲۰۰۴ میلادی استفاده خواهد شد. اثر پارامترهای مختلف شامل فاصلهٔ مقیاس‌شده دیوار از محل انفجار، مدول الاستیسیته خاک، سختی محوری ژئوتکستایل و خواص اتصالی بین خاک و ژئوتکستایل بر روی تغییر شکل دیوار، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳. نحوه مدل‌سازی عددی

در این مطالعه مدل‌سازی با استفاده از دو نرم‌افزار تعادل حدی Geostudio/Slope/w و اجزاء محدود Abaqus/3D که کاربرد وسیعی در مسائل ژئوتکنیک دارد، صورت گرفته است. ابتدا باید دیوار موردنظر با استفاده از نرم‌افزار تعادل حدی در حالت ایستایی تحت بارهای استاتیکی مورد مطالعه قرار گیرد. سپس تغییر شکل‌های دیوار تحت بار انفجار با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود صورت گیرد.

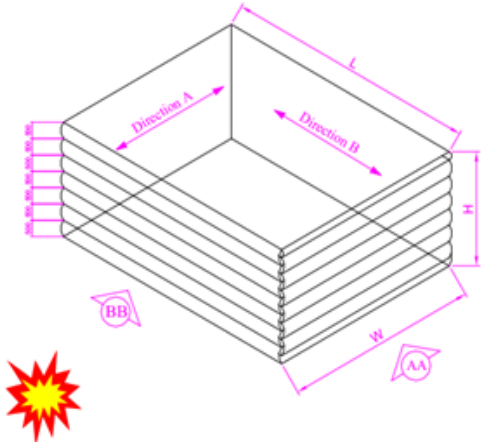
در این مدل‌سازی دیواری با عرض B=2m و ارتفاع خالص H=3m از روی سطح زمین به‌عنوان مدل پایه انتخاب شده است. مدل‌سازی زمین زیر دیوار بر اساس تجربه و با عرضی برابر B ۵ و ارتفاعی معادل H ۲ انجام شده و شرایط مرزی استاندارد به آن اعمال شده است.

به منظور بررسی تأثیر انفجار بر روی تغییر شکل دیوار، مدل‌سازی برای انفجار سطحی معادل ۵۰۰۰ کیلوگرم خرج TNT در فاصلهٔ ۲۳ متری صورت گرفته است. مصالح خاکی به صورت الاستوپلاستیک با معیار خرابی موهر-کولمب و به صورت زهکشی شده مدل شده است. در جدول ۱، خلاصه‌ای از پارامترهای ورودی برای مصالح خاکی در نرم‌افزار ارایه شده است.

جدول ۱: خصوصیات مصالح خاکی

ردیف	مقدار(واحد)	پارامتر
۱	۱۸ (kPa)	وزن مخصوص خشک (γ_{dry})
۲	۱۸ (kPa)	وزن مخصوص مرطوب (γ_{wet})
۳	۸۰۰۰-۴۰۰۰ (kPa)	مدول الاستیسیته (E)
۴	۰/۳	ضریب پوآسون (ϑ)
۵	۲۰ (kPa)	ضریب چسبندگی (C)
۶	۳۵	زاویهٔ اصطکاک (φ)

لایه‌های مسلح‌کننده با استفاده از المان shell و دارای مقاومت کششی مدل شده‌اند. ژئوتکستایل پایه به کار رفته در مدل‌سازی، یک ژئوکامپوزیتی با مقاومت بالا بوده و بسته به ضخامت تولیدی دارای مقدار سختی محوری ۱۲۰۰ کیلونیوتن بر متر می‌باشد. به منظور در نظر گرفتن اثرات ژئوتکستایل، مدل‌سازی دیوار بدون وجود ژئوتکستایل و همچنین با وجود آن در نظر گرفته شده است. در هر دیوار ژئوتکستایل هم به‌عنوان نما و هم به‌عنوان مسلح‌کننده به کار رفته است. فاصلهٔ قائم ژئوتکستایل‌ها برابر ۵۰۰ میلیمتر انتخاب شده است که بسته به ارتفاع دیوار، تعداد ردیف‌های مسلح‌کننده نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۱ مدل هندسی دیوار با ارتفاع خالص ۳ متر از روی سطح زمین و ۶ لایه مسلح‌کننده نشان داده شده است. برای اندرکنش بین ژئوتکستایل و خاک از گزینه Tie در نرم‌افزار، استفاده شده است تا منجر به یکپارچگی بیشتر مدل شود.



شکل ۱: مدل هندسی دیوار

۴. صحت‌سنجی مدل

نتایج اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته در آزمایش میدانی انفجار روی دیوارهای RS در سال ۲۰۰۴ میلادی، به‌منظور صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. این آزمایش میدانی شامل انفجار

۵۰۰۰ کیلوگرم TNT بر روی دو نوع دیوار خاکی مسلح‌شده با ژئوتکستایل بوده است. مدول الاستیسیته خاک محل برابر ۲۷۰۰۰ کیلو پاسکال بوده و سایر خصوصیات مصالح خاکی دیوارها مطابق با جدول ۱ می‌باشد. این دیوارها دارای عرض ۲ متر، ارتفاع ۳ متر و طول ۶ متر بوده و به ترتیب در فاصلهٔ ۲۳ متر از مرکز انفجار واقع شده‌اند. هر دیوار دارای ۶ لایه ژئوتکستایل با سختی محوری ۱۲۰۰ کیلونیوتن بر متر می‌باشد.

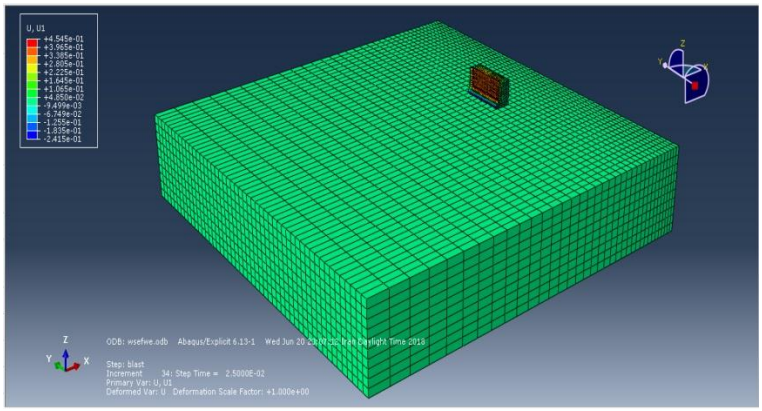
در جدول ۲ نتایج مدل‌سازی عددی این دو دیوار با نتایج حاصل از مدل واقعی، نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، تطابق بسیار خوبی بین حداکثر تغییر مکان افقی بالای دیوار و همچنین کرنش فشاری ژئوتکستایل در مدل‌سازی عددی با واقعیت وجود دارد.

جدول ۲: مقایسه مدل‌سازی عددی با مدل تجربی دیوار در فاصلهٔ ۲۳ متری

حداکثر تغییر مکان افقی بالای دیوار	مدل تجربی	۴۴۳ (mm)
	مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار Plaxis	۴۶۶ (mm)
	مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار Abaqus/3D	۴۴۶ (mm)

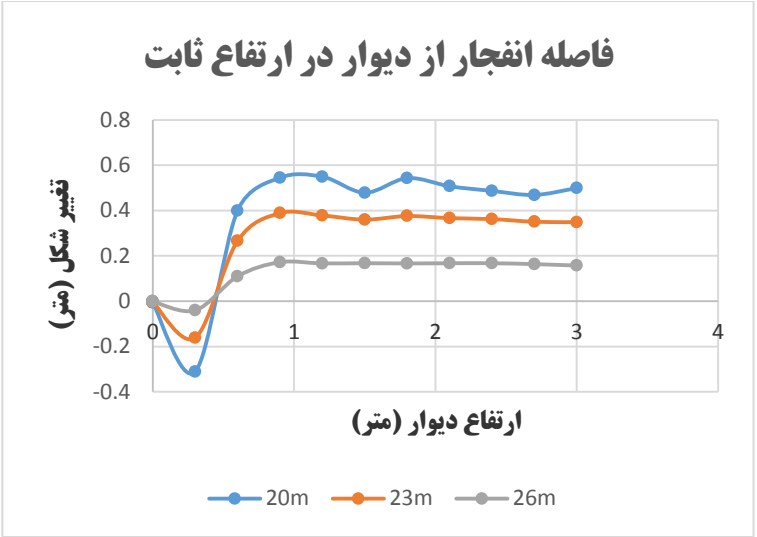
۵. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در شکل ۲ حداکثر تغییر شکل دیوار در اثر بارگذاری دینامیکی انفجار، نشان داده شده است. تغییر مکان دیوار در ارتفاع‌های مختلف بر روی دیوار تغییر می‌کند.



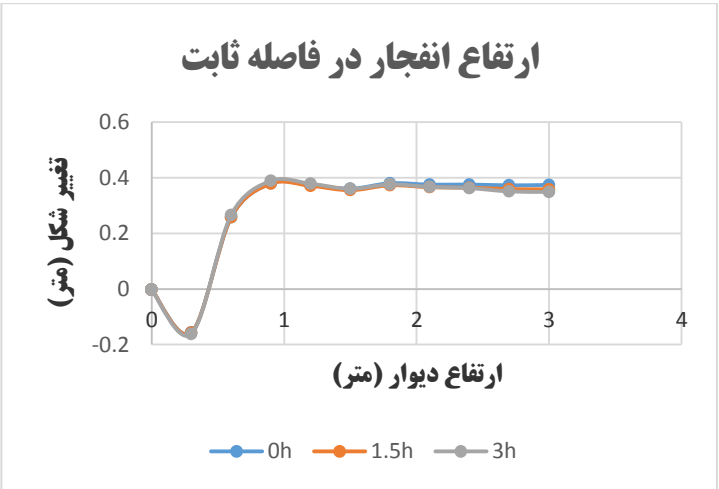
شکل ۲: تغییر شکل دیوار خاکی مسلح در اثر انفجار

در شکل ۳ انفجار در فواصل مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشخص است با افزایش فاصلهٔ انفجار از دیوار در ارتفاع ثابت برابر ارتفاع دیوار (۳ m)، نرخ کاهش تغییر شکل افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳: تأثیر فاصلهٔ انفجار بر تغییر شکل طول دیوار

همچنین در شکل ۴ در فاصلهٔ مشخصی از دیوار (۳متر) انفجار در ارتفاع‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، که نشان دهندهٔ تأثیر نامحسوس ارتفاع انفجار در نتایج تحلیل می‌باشد.



شکل ۴: تأثیر ارتفاع انفجار بر تغییر شکل طول دیوار

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی تغییر شکل‌پذیری دیوارهای خاکی مسلح‌شده با ژئوسنتتیک در برابر بار انفجار با استفاده از مدل‌سازی عددی در نرم‌افزار Abaqus 3D پرداخته شده است. برای بارگذاری انفجاری در حالت سه‌بعدی علاوه بر وجه جلو و بالای دیوار، وجه کناری دیوار نیز به علت سه‌بعدی بودن مدل‌سازی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و باید در نظر گرفته شود.

تأثیر پارامترهای مختلف از جمله فاصله از مرکز انفجار و ارتفاع انفجار از سطح زمین مورد مطالعه قرار گرفته است، نتایج نشان داد که با افزایش فاصلهٔ انفجار از دیوار، تغییر شکل‌های دیوار کاهش پیدا می کند. اما نکته قابل‌توجه نرخ این کاهش تغییر شکل می‌باشد که با افزایش فاصلهٔ انفجار از دیوار خاکی افزایش پیدا می‌کند.

همچنین در مورد ارتفاع وقوع انفجار از سطح زمین، نشان داده شد که به‌دلیل گیرداری انتهای دیوار و آزادی قسمت فوقانی آن انفجار در ارتفاع‌های مختلف از سطح زمین، بخصوص در دیوارهای با ارتفاع کم (۳ m) تفاوت محسوسی به چشم نمی‌خورد ولی با توجه به انتهای نمودارها که در حال فاصله گرفتن هستند می‌توان حدس زد که در دیوارهای با ارتفاع‌های بیشتر این امکان وجود دارد که این پارامتر تغییرات متفاوتی از خود نشان دهد.

۷. منابع

[۱] غلامرضا نوری، رضا هاشمی، (۱۳۹۳)، "*تحلیل پایداری دیوار خاک مسلح تحت اثر بار انفجار*،" هشتمین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران.

[2] Ng, C.C. (2000), “Response of geosynthetics reinforced soil structure subject to blast,” Master thesis, National University of Singapore.

[3] Zhiwei, H. (2008), “Geosynthetic reinforced structures subject to blast load,” Ph.D thesis, National University of Singapore.Udwadia, F. E. and Trifunac, M. D., (1973), “Ambient Vibration Test of Full Scale Structures,” Proc. of the 5th World Conf. On Earthquake Engineering, Rome, pp.

[4] Brinkgreve, R.B.J. (2002), “PLAXIS user’s manual- version 8.2,” Delf University of Technology and PLAXIS b.v., The Netherlands.

[5] Jewell R.A., "Some Effects of Reinforcement on the Mechanical Behavior of Soils", PhD Thesis, University of Cambridge, (1980).

[6] Chungsik Yoo., "Performance of a 6-year-old geosynthetic reinforcedsegmental retaining wall",Journal of Geotextile And Geomembranes.

[7] Won, M.S. and Kim, Y.S., "Internal deformation behavior of geosynthetic-reinforced soil walls",Journal of Geotextile and Geomembranes.

[8] Elias, V., Christopher, B.R. and Berg, R.R., "Mechanically Stabilized Earth Walls and Einforced Soil.

[9] Slopes Design and Construction Guidelines", Repot No.FHWA-NHI-00-043, FHWA-US Dept. ofTransportation, Washington, DC, (2001).