



بررسی اثرات شمع و ستون سنگی در کاهش روانگرایی ساختگاه ها حین زلزله

اسماعیل معصومی^۱، محمدرضا فولادی^۲، امیر رضا مدرس نیا^۲

(۱) مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

(۲) دانشجو دکترا مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

Es.masoumi@gmail.com, Mohammadreza_fouladi@yahoo.com, Arm_nia@yahoo.com

چکیده

گسیختگی های رخ داده شده در سطح زمین حین زلزله یکی از نگرانی های بزرگ بشر از گذشته تا به حال بوده است. یکی از این گسیختگی ها، صدمات ناشی از روانگرایی می باشد. روانگرایی در سطح زمین و به شکل جوشش خاک رخ می دهد. این پدیده که بیشتر در خاک های ماسه ای اشباع غیرمترکم رخ می دهد یکی از مباحث مهم در تحقیقات مهندسی ژئوتکنیک می باشد. امروزه تکنیک هایی برای رفع این مشکل بکار برده می شود. ستون سنگی و شمع از جمله این تکنیک ها می باشند که مکانیزمی شبیه به هم دارند. هر کدام از این تکنیک ها به روشهای مختلفی اجرا می شوند. در این تحقیق بر آن هستیم که اثر ستون سنگی و شمع را بر نشست قائم، جابجایی افقی و پتانسیل روانگرایی ساختگاه های تحت زلزله بررسی کنیم تا میزان کارایی و مزیت های این تکنیک ها نسبت به هم را بررسی نماییم.

واژگان کلیدی: روانگرایی، ستون سنگی، شمع، ماسه اشباع، نشست، جابجایی

مقدمه

۱- روانگرایی

پدیده تغییر رفتار ماسه از حالت جامد به مایع در نخستین گام های گسترش مکانیک خاک شناخته شد. نخستین بار کاساگرانده در سال ۱۹۳۶ پدیده روانگرایی ماسه و آثار آن را شناساند. کاساگرانده از تئوری نسبت پوکی بحرانی (CVR) استفاده کرد وی از این تئوری برای نشان دادن شرایطی که موجب وقوع روانگرایی می شود استفاده کرد. او توضیح داد که ماسه مترکم وقتی تحت برش قرار می گیرد، گرایش به اتساع دارد ولی ماسه سست تحت همان شرایط گرایش به کاهش حجم دارد.

واژه روانگرایی آبی توسط ترزاقی و پک در سال ۱۹۴۸ برای نشان دادن تغییر حالت نهشته های ماسه ای سست و جریان آن ها شبیه یک سیال ویسکوز که در اثر دست خوردگی اندکی به وجود آمد استفاده می شود. از نظر تاریخی کلمه روانگرایی همواره در ارتباط با پدیده های مختلف تغییر شکل خاک های اشباع غیر چسبنده (نهشته های ماسه ای اشباع فاقد چسبندگی و سیلت های غیر چسبنده) در شرایط زهکشی نشده تحت اثر اغتشاشات گذرا، یکنواخت و تکراری می باشد. تمایل خاک های غیر چسبنده به مترکم شدن در اثر بارگذاری استاتیکی و یا سیکلی امری شناخته شده است. هنگامی که خاک های غیر چسبنده اشباع می باشند در اثر بارگذاری سریع در شرایط زهکشی نشده، تمایل به تراکم دارند که موجب افزایش فشار آب حفره ای گشته و در نتیجه تنش های موثر کاهش می یابند. اثرات ویران کننده



روانگرایی ناشی از زلزله سبب توجه ویژه مهندسين ژئوتکنیک لرزه‌ای در یک دوره سه ماهه در سال ۱۹۶۴ گشت، یعنی هنگامی که زلزله‌ای در آلاسکا (۹/۲ Mw) پس از زلزله نیگاتا (۷/۵ Ms) زاین رخ داد. در هر دو زلزله نمونه‌های جالبی از خرابی ناشی از زلزله مانند گسیختگی شیب‌ها، گسیختگی شالوده ساختمان و پیل‌ها و شناوری سازه‌های مدفون اتفاق افتد.



شکل ۱- روانگرایی رخ داده شده در زلزله نیگاتا ژاپن ۱۹۶۴

پدیده روانگرایی حاصل از این روند را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم نمود:

۱. روانگرایی جریان‌ی

۲. تحرک سیکلی

روانگرایی جریان‌ی و تحرک سیکلی هر دو بسیار مهم بوده و در ارزیابی مخاطرات روانگرایی بایستی هر دو این پدیده‌ها در نظر گرفته شوند. معمولاً در عمل روانگرایی جریان‌ی کمتر از تحرک سیکلی اتفاق می‌افتد اما اثرات آن معمولاً بسیار بیشتر می‌باشد. در مقابل، تحرک سیکلی نسبت به روانگرایی جریان‌ی در محدوده وسیع‌تری از شرایط خاک و ساختگاه اتفاق می‌افتد و اثرات آن نیز از کم اهمیت تا خسارت بسیار زیاد طبقه بندی می‌گردد.

۲- عوامل مؤثر بر روانگرایی

- ۱) دانه بندی ماسه
- ۲) تراکم اولیه
- ۳) مشخصات لرزش
- ۴) نحوه زهکشی و ابعاد نهشته
- ۵) اندازه و طبیعت سرپار
- ۶) ساختار خاک
- ۷) مدت شکل گیری توده ماسه
- ۸) تاریخچه کرنش‌های قبلی
- ۹) هوای محبوس



۳- ستون سنگی

تحقیقات زیادی هم در مورد روش اجرا و هم در مورد طراحی ستون سنگی انجام شده است. این روش مبتنی بر تعویض ۱۵ الی ۳۵ درصد حجم خاک نامرغوب بوسیله حفر چاههایی با قطر و عمق و فاصله معین از یکدیگر و پر کردن چاهها بوسیله ماسه، شن یا سنگریزه و متراکم نمودن آن بصورت ستون های عمودی می باشد. مواد دانه ای بصورت لایه لایه در چاه حفر شده ریخته شده، بوسیله دستگاههای مخصوص مرتعش و متراکم می شود. استفاده از دستگاههای مخصوص در متراکم کردن مصالح درون چاه از سال ۱۹۳۵ به بعد متداول شده است.

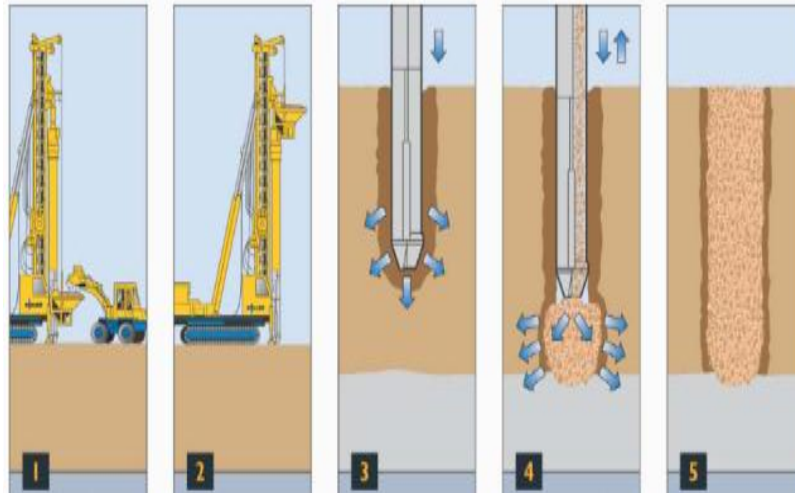
امروزه از ستونهای سنگی بیشتر در خاکهای ریزدانه (سیلتی و رسی) و خاکهای ماسه ای سست استفاده می شود. برای اولین بار در سال ۱۸۳۰ در فرانسه برای اصلاح خاک از ستون سنگی استفاده شد. فلسفه استفاده از ستون سنگی زیاد بودن مقاومت برشی مصالح و تأمین قید جانبی بوسیله خاک اطراف است.

از جمله دلایل استفاده از ستون سنگی :

- ۱- افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست پذیری.
- ۲- ظرفیت باربری قابل ملاحظه ای که ستونهای سنگی دارند (توصیه شده است که در طراحی بار هر ستون سنگی ۲۰ الی ۵۰ تن بار در نظر گرفته شود).
- ۳- استفاده از ستون سنگی در خاکهای لای دار و رسی موجب افزایش مقاومت برشی خاک می شود.
- ۴- ستون سنگی یک روش اقتصادی اصلاح خاک است.
- ۵- نفوذپذیری زیاد مصالح ستون سنگی باعث می شود که ستون سنگی به عنوان یک زهکش قائم عمل کرده و موجب کاهش زمان تحکیم شود.

از ستونهای سنگی در موارد ذیل می توان استفاده نمود:

- ۱- افزایش پایداری شیروانی های طبیعی و شیروانی خاکریزها.
- ۲- افزایش ظرفیت باربری خاک زیر پی.
- ۳- کاهش نشستهای نسبی.
- ۴- کاهش پتانسیل روانگرایی.
- ۴- افزایش سرعت تحکیم خاک و کاهش زمان تحکیم.



شکل ۲- مراحل اجرای ستون سنگی

- انواع روشهای اجرای ستون سنگی

- ۱) روش لرزشی - جایگزینی (خیس) یا روش مصالح ریزی از بالا
- ۲) روش لرزشی - جابجایی (خشک) یا روش مصالح ریزی از پایین
- ۳) روش خشک - مصالح ریزی از بالا
- ۴) روش چرخشی - جابجایی
- ۵) روش ستون سنگی کوبشی
- ۶) روش شمع با ماسه متراکم
- ۷) روش ستون سنگی صلب

۵- شمع

شمع‌ها عناصر ستونی نسبتاً لاغری هستند که برای انتقال بار روسازه از لایه خاک با قابلیت فشرده‌گی زیاد و ضعیف و یا از آب به لایه‌های خاک محکم‌تر و یا سنگ بستر مورد استفاده قرار می‌گیرند. شالوده‌های شمعی کاربردهای متعددی در بسیاری از مقاصد مهندسی ژئوتکنیک دارند. نیروهای وارد بر این سازه عمدتاً نیروی محوری ناشی از وزن سازه‌های فوقانی و نیروهای ناشی از ترافیک خودروها، نیروهای ناشی از جرثقیل، بارهای ضربه ناشی از پهلوگیری کشتی‌ها و نیروهای ایجاد شده به وسیله امواج می‌باشند. به طور کلی سیستم‌های پی عمیق (شمع) زمانی توصیه می‌شود که حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

- ۱- لایه سطحی خاک فاقد مقاومت کافی بوده و لایه‌های مقاوم‌تر خاک در اعماق پایین‌تر یافت شوند. به عبارت دیگر حتی، اگر از پی‌های گسترده استفاده شود ظرفیت باربری لازم توسط لایه‌های سطحی تأمین نگردد.



۲- لایه یا لایه‌های سطحی نشست‌پذیر، تورم‌زا و فروریزی باشند و یا سازه به نشست غیرمقارن بسیار حساس باشد.

۳- علیرغم مقاوم بودن لایه‌های سطحی خاک، مشکل آب‌شستگی وجود داشته باشد. مانند آب‌شستگی کناره پایه‌های میانی و یا کوله پل‌ها و سازه‌های مجاور ساحلی

۴- بارهای متمرکز بزرگی باید از سازه به خاک منتقل شود به طوری که تحمل این نیروها توسط پی‌های سطحی، حتی به صورت گسترده امکان‌پذیر نباشد.

۵- سطح آب زیرزمینی در منطقه بالاست و یا فشار آرتزین در لایه‌های خاک وجود داشته، به طوری که امکان احداث پی کم عمق وجود نداشته باشد.

۶- جلوگیری از روانگرایی خاک و حفاظت سازه در مقابل اثرات ناشی از آن.

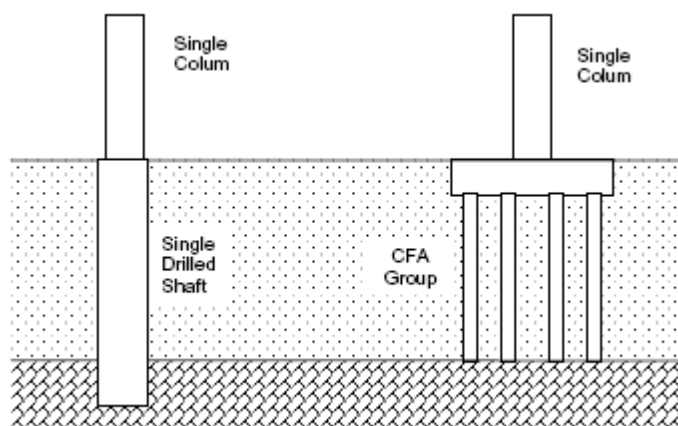
۷- افزایش سختی خاک زیر ماشین‌آلات برای کنترل دامنه ارتعاشات پی و همچنین کنترل فرکانس طبیعی سیستم.

- مقاومت در برابر نیروهای کششی و واژگونی برای پی‌های زیر سطح آب و یا جلوگیری از واژگونی سازه‌های بلند

۹- ایجاد مهار در برابر نیروهای افقی و زلزله یا ضربه‌گیری در اسکله

۱۰- کنترل لغزش و رانش زمین و افزایش پایداری شیب‌ها

۱۱- مقابله با عواقب آبی حاصل از ساخت‌وسازها در مجاورت پروژه یا بناهای موجود.



شکل ۳- نمونه‌هایی از اجرای شمع بصورت منفرد و گروهی



۶- مقایسه و نتیجه گیری

- (۱) ستون های سنگی با افزایش تراکم خاک و زهکشی آب حفره ای اضافی تولید شده، پتانسیل روانگرایی و به تبع آن نشست و جابجایی افقی خاک را کاهش می دهند.
- (۲) ستون سنگی بدلیل ماهیت مصالح تشکیل دهنده اش که مصالحی با سختی کم می باشند، توانایی زیادی جهت افزایش سختی ساختگاه ندارند و در نتیجه نمی توانند جابجایی افقی خاک را بطور قابل توجهی کم کنند ولی شمع بدلیل اینکه از مصالح با ساخی زیاد ساخته شده است (بتن یا فولاد) سختی ساختگاه را بخوبی افزایش می دهد و در نتیجه نشست قائم و جابجایی افقی را بیشتر از ستون های سنگی کم می کنند.
- (۳) ستون های سنگی در خاک روانگرا سبب ایجاد زهکشی و کاهش آب حفره ای اضافی تولید شده در خاک خواهند شد که این امر به عدم کاهش صلبیت (سختی) سیستم کمک می کند.
- (۴) ستون های سنگی در اعماق کم تأثیر بیشتری دارند تا اعماق زیاد.
- (۵) ستون های سنگی بدلیل اینکه مصالح تشکیل دهنده آنها تخلخل بیشتری نسبت به مصالح تشکیل دهنده شمع دارد قابلیت زهکشی بیشتری دارند.



منابع

- ۱- میرحسینی، سید مجدالدین، دینامیک خاک، ۱۳۷۲، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
 - ۲- کلاتری، فرزین، حیدری، مهدی، ارزیابی عملکرد ستون سنگی در کاهش نشست در مناطق ساحلی، ۱۳۸۷، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران
 - ۳- قضاوی، محمود، نظری افشار، جواد، طراحی و روشهای اجرای ستونهای سنگی، ۱۳۸۸، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
 - ۴- فولادی، محمدرضا، توکلی، حمیدرضا، بررسی تأثیر توام سربار و گروه ستون سنگی بر پتانسیل روانگرایی ساختمانهای ماسه‌ای تحت شتاب نگاشت حوزه دور و نزدیک گسل، ۱۳۹۲، دانشگاه آزاد تهران مرکز
- [۵] Kramer SL, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, ۶۵۳p, (۱۹۹۶)
- [۶] Ishihara K, Stability of Natural Deposits During Earthquake, Proceedings of the ۱۱th World International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol.۲, pp ۳۲۱-۳۷۶, (۱۹۸۵)
- [۷] Seed HB, Tokimatsu K, Harder LF, Chung RM, The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol ۱۱۱, No.۱۲, pp ۱۴۲۵-۱۴۴۵, (۱۹۸۵)
- [۸] Tomlinson MT, Pile Design and Construction Practice. E&FN Spon, Fourth Edition, (۱۹۹۴)
- [۹] Barksdale, R.D, and Bachus, R.C, Pile Design and Construction of Stone Column Vol ۱, FHWA/RD, December, ۱۹۸۳
- [۱۰] Mitchell, J, Went, F, Performance of Improvement Ground During the Loma Prieta Earthquake University of California, Berkeley UCB/EERC Report ۱۲-۹۱, ۱۹۹۱
- [۱۱] Hydeb, F, Baez, J, State of Practice for Liquefaction Mitigation in North America, Prob int, Workshop on Remedial Treatment of Liquefiable Soil, Japan, ۱۹۹۴