



## اصلاح خاک حفاریهای بزرگ

یونس گرکز دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی زنجان 1  
یاشار موسوی دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی زنجان  
محمد رضا عطرچیان دکتری عمران استادیار دانشکده عمران دانشگاه آزاد اسلامی زنجان

### چکیده:

سیستم اختلاط در عمق را میتوان به عنوان یک روش منحصر به فرد به صورت تک هسته ای، شمع، ستونهای خاک، سیمان تحت عنوان (SMW) نام برد. اختلاف در عمق به عنوان یک روش بهینه سازی خاک زمین نرم میباشد. اختلاف با این سیستم شامل دو مرحله میباشد:

- اختلاف مکانیکی به وسیله نیرو و با تیغهای اختلاط

- جت آب یا هوا با فشار بالا همراه با تثبیت کننده شیمیایی

در روش (SMW) موثرترین عامل اختلاط نیست ابراز اختلاط میباشد که به عنوان بهینه ترین ابزار در اختلاط هر نوع خاک شنی و ماسه ای طراحی شده با استفاده از اختلاط خاک و دو قالب سیمان، نسبت به آب به سیمان برای دو غاب و مقدار مناسب تزریق دو غاب در نظر گرفته میشود.

نتایج تستهای آزمایشگاهی و تستهای پایه ای نشان میدهد که طراحی خاک- سیمان با این روش مار را به مقاومت مطلوب طراحی شده می رساند.

**کلمات کلیدی:** اصلاح خاک - اختلاط مکانیکی - حفاری - تثبیت خاک

اصطلاحات علمی و فنی موجود که برای برخی از روش های بهینه سازی خاکها و نیز سیستم هایی که سیمان را در خاک وارد می کنند به روش های مختلف حفر کردن یا وارد کردن دوغاب می گویند.

خواص مهندسی محصولات خاک - سیمان که از روشهای مختلفی به دست می آیند بسیار متفاوت هستند. پس نتیجه هایی که از اجرای یک پروژه با یک روش بوجود می آید با نتایج حاصل از یک روش دیگر تفاوت خواهد داشت. این سیستم به عنوان یکی از روشهای اختلاط در عمق معرفی می شود. همچنین این سیستم به نام دیوار پیوسته و یا دیوار اختلاط خاک در کشور ژاپن نامیده می شود.

عبارت اختلاط در عمق برای مکانیزم ساخت دوپل و یا سه تایی بکار می رود که در نصب سیستم آب بندی چکه ای در این پروژه و DSM عبارت جایگزین برای SMW بود.

بهینه سازی خاک زمین نرم که در طول دهه ۷ در ژاپن توسعه داده شده است در لغت نامه مهندسی خاک و پی ژاپن به نام روش اختلاط در عمق خاک پایدار نامیده می شود. که بصورت زیر تعریف می شود:

بهینه سازی خاک شامل اختلاط با یکدیگر با تثبیت کننده های شیمیایی مثل آهک یا سیمان در زمین عمیق در محل که شامل فشرده سازی نمی شود.

در این روش دو عمل بصور اولیه انجام می شود:

۱- اختلاط خاک و سیمان بوسیله نیرو با تیغه های مکانیکی

۲- جت آب یا هوا همراه با فشار زیاد و تثبیت کننده های شیمیایی

سیستم **SMW** به عنوان یک وسیله برای نصب دیوار حائل زمین و برای چک کردن آب بندی برای حفریهای باز در ژاپن مورد استفاده قرار می گیرد. این سیستم از ستون های نیمه نیمه روی هم افتاده تشکیل یافته که در بیشتر انواع خاکها می تواند نصب گردد.

باید باور داشت که سیستم **SMW/DSM** یک سیستم حفاری است که دوغاب سیمان و نبتونیت را در خاک تزریق می کنند که این سیستم البته سیستم اختلاط در عمق نمی باشد. استفاده از عبارت اختلاط در عمق این تصور را می دهد که یک سیم اختلاط می باشد اما این سیستم در اصل یک عمل حفاری و جایگذاری دوغاب در خاکهای رسی است.

### ۱- سیستم خاک - سیمان، شمع - ستون :

این سیستم شامل موارد زیر است:

۱- یک میله سوراخ دار حفاری همراه با مفصل کوپل هیدرولیک در بالای شافت حفاری که به وسیله یک ابزار حفاری/ اختلاط ثابت گردیده.

۲- وسیله اختلاط دوغاب

۳- پمپ دوغاب همراه با یک شیلنگ رابط تا مفصل گردان در بالای شافت حفاری

### مراحل نصب این سیستم نیز شامل موارد زیر است:

۱- گذاشتن شافت حفاری در مرکز شمع برای شروع

۲- حفاری تا عمق آب بندی بدون تزریق دوغاب

۳- حفاری همراه با تزریق دوغاب سیمان در زیر عمق آب بندی

۴- پس از رسیدن به کف، ادامه دادن چرخش و تزریق دوغاب به مدت حدود ۱ دقیقه از اختلاط کف

۵- خارج کردن و درآوردن، زمانی که چرخش در جهت عکس ادامه دارد بدون تزریق دوغاب

### ۲- ابزار حفاری / اختلاط :

عنصر کلیدی ابزار حفاری اختلاط تیغ تقسیم می باشد که این یک مکانیزم جدید است.

تیغ تقسیم به شافت حفاری فیکس نشده و از چرخش شافت آزاد است.

تیغ تقسیم کمی بلندتر از ابعاد قطر مته است. این تیغ نسبت به محور شافت حفار کمی زاویه دارد. تیغه های برش و اختلاط کمی از حالت افقی خم گردیده اند. برای اینکه بتوانند مخلوطی از خاک- سیمان را زمانی که حفار در جهت نفوذ به سمت پائین در حال چرخش است بکشد.

این تیغه ها مخلوط خاک- سیمان را به درون شمع/ ستون در هنگام خارج کردن حفار وقتی که در جهت عکس و چرخه فشار می دهند.

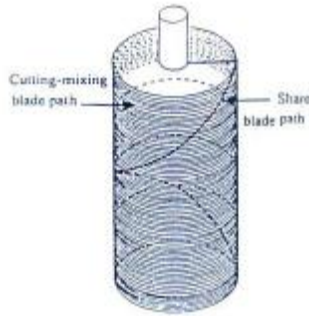
### ۳- مراحل اختلاط :

۱. خارج کردن دوغاب سیمان از محل خروج دوغاب در کنار تیغ هایی که دوغاب با خاک های کنده شده مخلوط می شود از زمانی که حفار به داخل خاکهای m-situ نفوذ می کند.
- خاکهای حاصل از حفاری و دوغاب همراه با تیغه های حفاری می چرخند و فقط تا کمی با هم مخلوط می شوند.
۲. در حالی که حفار بیشتر به عمق نفوذ می کند، مخلوط دوغاب- خاک با تیغه تقسیم مواجه می شود که نمی چرخد و موجب عمل برش می شود که کاملاً مخلوط خاک- دوغاب را با هم می آمیزد. (تیغ تقسیم در واقع، ۴۰ درجه در دقیقه هنگام نفوذ می چرخد و آن به خاطر زاویه کمی است که نسبت به محور شافت حفار دارد)
۳. در حالی که حفار به عمق نفوذ می کند، مخلوط خاک- سیمان به وسیله تیغه های برش- اختلاط بیشتر با یکدیگر آمیخته می شوند.
۴. زمانی که حفار به انتهای عمق حفاری می رسد، چرخش برای حدوداً یک دقیقه ادامه پیدا می کند که نتیجه آن جاری شدن دوغاب می باشد و بعد از آن دیگر جریان دوغاب بسته می شود.
۵. انجام این اختلاط در ته محل تعیین شده حفاری ضروری می باشد برای اینکه کاملاً قسمت ته شمع مخلوط/ فشرده گردد.
۶. پس از اختلاط در کف شمع، ابزارها همراه با چرخش معکوس شافت حفار خارج می شوند زاویه کمی که تیغه های برش- اختلاط دارند موجب فشرده شدن خاک- سیمان (در شمع/ ستون) هنگام خارج کردن ابزار حفار می شود.

### ۴- اختلاط خاک- سیمان یکنواخت :

این سیستم توسط عملیات اختلاط خاک بدون کلوخ و یا سیمان بدون کلوخ انجام می شود که با یک رطوبت نسبتاً یکنواخت و پراکنده کردن یکنواخت سیمان را در شمع/ ستون در بر دارد. مهمترین عوامل برای نصب موفق شمع/ ستون خاک- سیمان عبارتند از:

۱. اختلاط یکنواخت خاک و دوغاب سیمان
  ۲. نسبت آب به سیمان مناسب برای دوغاب
  ۳. مقدار مناسب تزریق دوغاب
- ثابت شده که ابزار اختلاط موثرترین وسیله برای توسعه اختلاط یکنواخت در هر دو نوع خاک شنی و ماسه ای می باشد. سرعت متوسط چرخش مته ۳۰ تا ۶۰ دور در دقیقه می باشد. در این سرعت میزان نفوذ حدود یک متر بر دقیق خواهد بود که تقریباً موجب ۱/۵ تا ۳ سانتیمتر حفاری بازای یک دور چرخش شافت مته می شود. و از آنجایی که تیغه ها به صورت جفتی هستند، هر کدام در یک طرف مته قرار می گیرند. پس فقط نیمی از حفاری را در یک چرخش انجام می دهند بنابراین خاکهای حاصل از حفاری بسیار ریز خواهند بود. میزان حفاری و نفوذ و همچنین چرخش تیغه تقسیم در شکل زیر نشان داده شده است.
- برای داشتن خاک سیمان با قدرت بالا، استفاده از نسبت آب به سیمان مناسب ضروری می باشد. همچنین اگر از میزان کمتری تزریق استفاده شود سودمند خواهد بود و از استفاده بیش از حد سیمان جلوگیری می کند و باعث جلوگیری از هدر رفتن آن نیز می شود. وقتی تمام کارهای فوق انجام گردد مخلوط خاک- سیمان سفت و خشک خواهد بود. برای درست کردن مخلوط خاک سیمان یکنواخت همراه با آب کم، استفاده از ابزار مخصوص اختلاط با تیغه تقسیم لازم است.



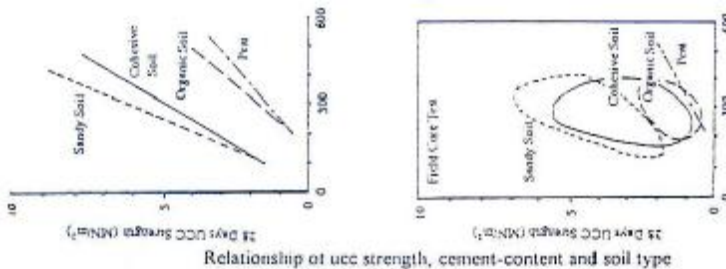
Drill/share blade penetration

### ۵- مقاومت خاک - سیمان :

عوامل اصلی که در مقاومت خاک- سیمان موثرند عبارت می باشند از: نوع خاک، مقدار سیمان، مقدار آب دوغاب سیمان، زمان نگهداری و بطور کامل مخلوط کردن سیمان با آب. معمولاً مقاومت خاک- سیمان در خاک شنی بیشتر از خاک ماسه ای است. مقاومت خاک- سیمان متناسب با مقدار سیمان بطور معکوس متناسب با نسبت آب به سیمان دوغاب سیمان می باشد شرط لازم ابتدایی برای رسیدن به مقاومت طراحی برای شمعها بوجود آوردن ترکیب و مخلوط همگن (یکدست) خاک- سیمان می باشد.

### ۶- مقاومت فشاری :

ارتباط بین مقاومت خاک- سیمان با نوع خاک و مقدار سیمان در شکل زیر نشان داده شده است. اطلاعات نشان داده شده در این شکل با استفاده از دوغاب که نسبت آب به سیمان آن از ۰/۶ تا ۱/۲ تغییر کرده و همچنین با تزریق دوغاب که نسبت آن از ۰/۲۳ تا ۰/۳۵ حجم تغییر کرده، بدست آمده است.



مقاومت طراحی خاک- سیمان با در نظر گرفتن نتایج تستهای آزمایشگاهی، تستهای پایه ای و اطلاعات مربوط به طرح اختلاط پروژه های قبلی انجام می شود. مقاومت با نتایج آزمایشهای فشار تک محوری ارزیابی و سنجیده می شود. به طور کامل مقاومت شمعها را می توان با آزمایش کردن قسمت یا بخشی از اندازه کامل شمعها تخمین زد که این آزمایش به ندرت انجام می گیرد بنابراین معمولاً مقاومت فشاری تک محوری خاک- سیمان بوسیله آزمایش نمونه ای

هسته (مغزه) که بوسیله مته مخصوص جهت مغزه گیری بدست می آید و یا آزمایش نمونه های گرفته شده بعد از نصب شمعها توسط نمونه گیر مخصوص سنجیده می شود.

ساگیموار در سال ۱۹۹۷ شاخص های زیر را که صفات مشخصه مقاومت خاک-سیمان بود را شرح داد:

۱. **مقاومت طراحی:** مقاومت طراحی ( $F_c$ ) خاک-سیمان از میانگین مقاومت فشاری تک محوری ( $quf$ ) نمونه های هسته حاصل می شود.

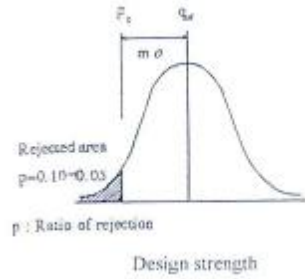
$$F_c = quf - 1.3\delta$$

$$f_c = 1/3F_c$$

$F_c$ : مقاومت طراحی

$f_c$ : مقاومت مورد نیاز در زیر بارگذاری استاتیکی نرمال

$d$ : انحراف معیار جوابهای آزمایش مقاومت



## ۲. مقاومت برشی:

$$Ft = t_{so} + d_n t g j$$

$t_{SO} : \delta_n = 0$  مقاومت برشی در

$d_n$ : تنش عمودی

$F$ : مقاومت برشی

ساگیمورا در سال ۱۹۹۷ ( $r.r.43$ ) از اطلاعات ژاپنیا نتیجه گیری کرد که زاویه اصطکاک داخلی سیمان ( $j$ ) برای اغلب توده های خاک در حدود ۳۰ درجه می باشد.

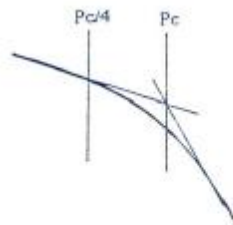
برای آزمایش برشی مستقیم:  $Ft_{so} = 0.29 F_c$  می باشد.

برطبق آخرین تحقیقات با مقاومت  $qu$  و مقاومت کششی  $F_c$   $F_{so} = 0.33 F_c$  که برای شرایط

واقعی  $F_c \leq 2MN/m^2$  و  $Ft_{so} = 0.3 F_c$  می باشد که مقاومت  $F_{so}$  مقاومت برشی طراحی می باشد.

## ۳. نشانه های خزش یا وارفتگی:

بار طراحی شده در درازمدت باید کمتر از ( $0.75$ ) تنش حاصل از تحکیم ( $pc$ ) باشد که طبق شکل که در آن نشان داده شده محدود می گردد. آزمایش تحکیم برای تخمین و ارزیابی خزش شاخص های ساختمانی خاک-سیمان توصیه می گردد.



Interpretation of yield stress, e-log P relation in consolidation test of soil/cement

۴. ضریب تغییر شکل فیزیکی طراحی:

$$F_{E50} = 180 F_c$$

ضریب تغییر شکل در 50% تغییر شکل نسبی:  $F_{E50}$

مقاومت طراحی:  $F_c$

۵. ضریب پواسون: ( $m$ )

نتایج حاصله از آزمایشهای فشاری سه محوری و آزمایشهای  $ucc$  نشان می دهند که ضریب پواسون از ۰/۱۹ تا ۰/۳ تغییر کرده است. آن مقدار از  $m$  که بطور واقعی برای آنالیزهای طراحی مورد استفاده قرار می گیرد برابر ۰/۲۶ است.

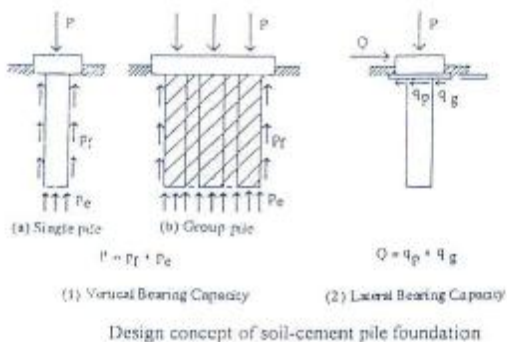
۷- مفهوم کلی طراحی شمع خاک - سیمان :

مفهوم کلی طراحی شمعیهای سیمانی پی در شکل نشان داده شده است. بر پایه هدایت و راهنماییهای ژاپنیها (ساگیمورا ۱۹۹۷) ظرفیت باربری عمودی شمع باید هم برای وجود اصطکاک و هم برای انتهای تکیه گاهی در نظر گرفته شود. همانطور که در شکل نشان داده شده است ظرفیت جانبی، از اصطکاک بالا سطح شمع و خاک مجاور آن تشکیل شده است. به هر حال ظرفیت جانبی معمولاً براساس اصطکاک بین پی زیر ساختمان و سطح لایه شن در بالای شمع های سیمانی می باشد. بنابراین برای ظرفیت جانبی ( $QU$ ) داریم:

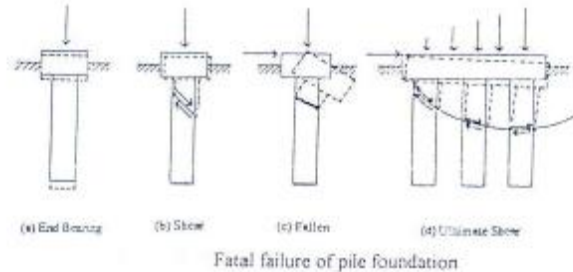
$$Q_u = Pm$$

$P$ : بار عمودی:

زاویه اصطکاک داخلی شن (35):  $j$ ، (ضریب اصطکاک)  $m: tgj$



برای طراحی تراز زلزله، بارهای شمع نباید از حد تسلیم شدن برای شمعها تجاوز کنند نشست باید به اندازه کافی کم باشد تا نگهداری و یکپارچگی ساختمان پی و نمای ساختمان حفظ شود. در هنگام زلزله بارهای شمع می توانند به خاک اطراف شمع وارد شده و فعل و انفعال متقابل را برای جلوگیری از حد تسلیم شدن انجام دهند. ظرفیت ساختمانی شمع، به گونه ای پیش بینی شده که از سازه در مقابل واژگون شدن جلوگیری به عمل آورد.



## ۸- کاربردها :

شمعها/ ستونها خاک- سیمان می توانند برای تثبیت زمین، شمعهای باربر، سیستمهای نگهدارنده زمین و قطع تراوش دیوارها (آب بندی دیوارها) استفاده شوند. مخصوصاً در مواردی که ساختمانها بر روی خاک رس و نرم و ماسه و لایهای اشباع شده سست مانند منطقه کوبه در ژاپن واقع شوند کاربرد بسیار دارند.

شمعهای خاک - سیمان پی های اقتصادی را بوجود می آورند که در زلزله و لرزههای قوی متعاقب زلزله خوب عمل می کنند.

پی های حاصل از شمع/ ستون خاک- سیمان در موارد زیر مفید هستند:

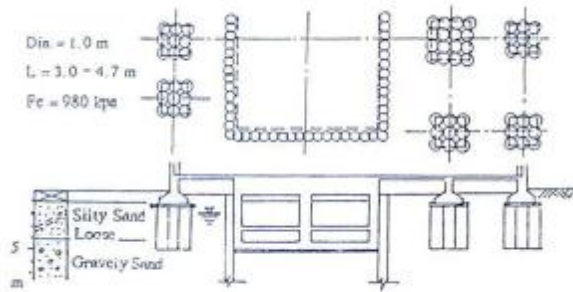
۱. جلوگیری از نشست بواسطه نرمی سطح زمین و یا متمایل و یا کج بودن لایه های باربر زمین و یا بواسطه مایع شدگی خاکهای مستعد هنگامی که مانند شمعهای باربر نصب شوند.
۲. کاهش نشست وقتی که مانند شمع اصطکاکی در عمیق زمین نرم نصب شوند.
۳. تثبیت زمین وقتی که مانند ستونها در داخل خاکهای مستعد مایع شدگی و یا در درون طبقات ضعیف و قابل تراکم زیر خاکبرداریها یا جایجاییهای جانبی حاصل از حفاری شمع بندی نصب شوند از نشستهای زیاد جلوگیری می کنند.
۴. تقویت زمین در برابر تغییر شکل برشی شمع و کمک کردن به سکوهای تخت برای شیب شیروانیهای خاکی.
۵. شمع بندی اطراف خاکبرداری (حفاری) برای قطع تراوش و چکه آب.

## ۹- موارد تاریخی :

### ۱. پی ساختمانی واقع بر مایه سست:

این یک کاربرد ابتدایی در منطقه کوبه ژاپن دارد. این ساختمان ( $B_1 \sim 3F$ ) در یک منطقه که در آنجا لرزههای قوی در طول زلزله سال ۱۹۹۶ کوبه مشاهده شد، تجربه شده است. شمعهای خاک- سیمان به طور دقیق باعث جدا ساختن پی مستقل با ماسه های لای دار سست با مایع شدگی زیاد می گردند، هنگامی که در زیر پی نصب می شوند.

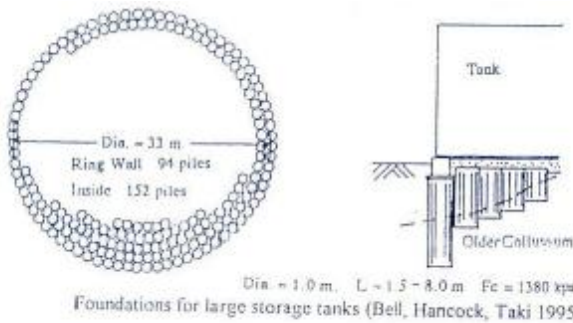
پی های سطحی کم عمق بر روی شمعهای خاک- سیمان غیرمسلح نگهداشته می شوند. (اجرا و ساخت سرپوش شمع برای تقویت ساختمانها موثر می باشد)



## ۲. پی مخزنی:

مکانهایی که خاک و بستر آنها بوسیله لایه ای از خاکهای آلوده پوشیده شده با شمعیهای خاک-سیمان در آنها به واسطه آلودگی مصالح، آلودگی گسترش پیدا می کند. همچنین حذف، برداشت و انتقال مصالح آلوده هزینه بالایی را در بر خواهد داشت.

جایی که لایه نگهدارنده در عمق تغییرپذیر زیر یک قسمت از مخزن پوسته ای قرار دارد، شمعیهای سیمانی مورد استفاده قرار می گیرند تا بارهای دیوار محیطی پی را به لایه محافظت کننده منتقل کنند. بعضی از شمعیهای خاک-سیمان در میان قسمتهای کنترل شده خاک و در تحت شرایط مورد فشار قرار گرفتن خاک نصب می شوند که به خاطر سختی اجرا دیگر روشها مورد استقبال متخصصین نمی باشد. (منبع Hancock ۱۹۹۵ and Taki را برای اطلاعات بیشتر مورد مطالعه قرار دهید) مخزن دیوار محیطی پی مانند یک شالوده کم عمق و سطحی که قسمت بار بر روی شمعیهای خاک-سیمان می باشد طراحی و بنا می گردد. شمعیهای خاک-سیمان نیز در یک قسمت زیر کف مخزن برای جلوگیری و اجتناب از نشست زیاد کف نصب می گردند.



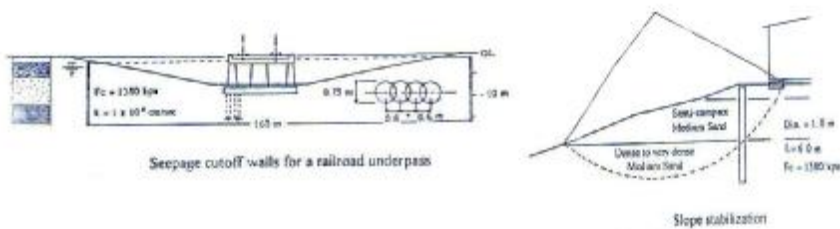


### ۳. دیوار قطع کننده جریان آب (قطع تراوش آب):

خاکبرداری برای ساختمان زیرگذر یک راه در یک منطقه با آب کم عمق سطحی زمین مانند یک دیوار دائمی قطع کننده تراوش آب طراحی می شود. حدود ۹۰۰ عدد ستون خاک-سیمان که ۱۶ متر طول و ۰.۷۵ متر قطر دارند و در فاصله گذاری مرکز به مرکز ۰.۶ متر برای هر ستون نصب می شوند در برگیرنده منطقه می باشند. مقاومت تعیین شده  $u_{cc}$  باید  $1380 \text{ kpa}$  باشد و قابلیت انتقال هیدرولیکی نباید از  $1/1000000 \text{ cm/sec}$  تجاوز کند. ستونهای خاک-سیمان که در مجاورت خط راه آهن پر رفت و آمد و یا نزدیک به ساختمانهای بنا شده نصب می گردند عملکردی مانند تکیه گاه موقتی برای خاکبرداری دارند.

### ۴. پایدارسازی شبروانیها:

یک آزمایشگاه دریایی به گونه ای طراحی می شود که از محل اسکله به سمت بالای تپه توده شن ساحل حرکت کند. شمعهای خاک-سیمان برای افزایش پایداری سرازیری نصب می شوند.



### ۱۰- نتایج :

۱. سیستم منحصر به فرد شمع/ستون خاک-سیمان توسط یک سیستم ترکیب در عمق که کاملاً مخلوط همگن یکدست خاک-سیمان را با یک نسبت کم آب به سیمان تولید می کند نصب و ایجاد می گردد.
۲. سیستم شمع/ستون خاک-سیمان یک شکل خوب مطابق بر شکل شمع/ستون با ضمانت کامل در مورد نوک و اطراف هر شمع/ستون تولید می کند.
۳. برش و مخلوط با مته و تیغه تقسیم باعث ایجاد امکان نصب شمعهای خاک-سیمان در فاصله های کمتر از ۱ متر با همگنی کامل مخلوط خاک-سیمان می شود.
۴. تیغه تقسیم کلیدی برای مخلوط کامل دوغاب سیمان با خاکها می باشد زیرا که ابزار حفاری باعث افزایش نفوذپذیری خاک می گردند. مقاومت شمع/ستون خاک-سیمان به نوعی خاک، دوغاب سیمان، نسبت آب به سیمان و بطور کامل ترکیب شدن مخلوط بستگی دارد.
۵. شمع/ستون خاک-سیمان می توانند در خاکهای سست بدون هیچگونه ریزش و یا فشار در خاکهای مجاور نصب شوند. خاکهای محل پروژه همواره در طول اجرا توسط مخلوط خاک-سیمان حمایت و پشتیبانی می شوند.
۶. شمعهای خاک-سیمان را می توان برای قسمت تکیه گاه انتهایی طراحی کرد.
۷. مقاومت شمع/ستون خاک-سیمان به نوع خاک، دوغاب سیمان، نسبت آب به سیمان و بطور کامل ترکیب شدن مخلوط بستگی دارد.

۸. شمعهای خاک-سیمان در طول زلزله سال ۱۹۹۶ کوبه عملکردی قابل قبول داشتند.
۹. شمع/ ستون خاک-سیمان برای بار تکیه گاهی، حفظ و نگهداری زمین، قطع تراوش آب زیرزمینی، افزایش پایداری شیروانیها و کاهش اثر مایع شدگی خاک موثرند.

#### منابع و ماخذ :

- 1- Bell, R.A ,ancock, T.M. and Taki, O. (1995), "Hillside Tank on Mix-in-Place Soil-cement Piles", X Pan-Am Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Guadalajara, Mexico, Vol. 2 pp. 783 ~792
- 2- Hibino, S. (1989), "Summary and Histories of Tenocolumn Method", Foundation Engineering and Equipment (Kiso-ko), pp. 90 ~ 96
- 3- JSSMFE Committee (1985), "Geotechnical Engineerig Term Dictionary", JSSMFE Jasperse, B.H,Ryan,C.R (1987.10), "Geotech import : deep Soil Mixing", ASCE civil Engineering , pp. 66 ~ 68
- 4- Mitchel, J.K, Baster, C.D.P.and Munson, T.C. (1995), "Performance of improved Ground During Earthquakes", ASCE Geotechnical special Publication No. 49, pp. 1~36
- 5- Pujol-Rius, A. ,Griffin P. and taki, O. (1989) "foundation Stabilization of Jackson Lake Dam ", 12<sup>th</sup> international conference of soil mechanics and Foundation Engineering Rio de Janerio, Brazil, vol 2, pp. 1403 ~1406
- 6- Schefer, V.R. (1997), "Ground Improvement, Ground reinforcement, Ground treatment, Developments 1987-1997", ASCE Geotechnical Special Publication No. 69, pp. 130 ~ 150
- 7- Sugimura, Y. (1997), "guideline of Design and Quality Control of Ground Improvement for Building – Deep Mixing System by Cement Reagent", Japan Building Center
- 8- Taki, o. and Bell, R.A. (1997), " Soil-Cement Pile/column", SCC Technology, inc.
- 9- Tanifuji, S. (1986), "Geotechnical Manual", Civil Enginireeng Research Center
- 10- Tenocolumn Association (1995) "Reconnaissance Report of Building in Kobe by Tenocolumn Foundation, 1995 kobe Earthquake-prompt Report"
- 11- Yonekura, R. , Terashi, M. , Shibasaki, M. (1996), "Grouting and Deep Mixing", Proceedings of IS-Tokyo '96, Volume 1, A.A. Balkema