

روش های مختلف مهاربندی گود

یکی از مهمترین مشکلات و دغدغه های موجود در رشته مهندسی عمران، احداث سازه ها، حفاظت از گودبرداری و ساختمان های موجود در مجاورت آن می باشد و در صورت عدم رعایت روش های مناسب به منظور حفاظت گودها و همچنین شیب های در حال احداث، منجر به خسارت جبران ناپذیری خواهد گردید و مخاطرات بوجود آمده ناشی از نشست های احتمالی و تقلیل ظرفیت باربری و تغییر مکان های جانبی موجب ایجاد ترک در سازه های مجاور گود خواهد شد. به منظور جلوگیری از موارد ذکر شده لازمست از قبل از شروع عملیات گودبرداری از روش های نگهداری و مهار بندی جانبی استفاده شود تا در محیطی پایدار و ایمن بتوان عملیات را ادامه داد. در این راستا سیستم های حفاظت جانبی بطور کلی شامل موارد زیر تقسیم بندی می شوند:

جداره های مهاربندی شده توسط المان های افقی و مایل (Braced wall using wale struts)

جداره های مهاربندی شده توسط المان های کششی (Soldier beam & lagging)

جداره های مهاربندی شده توسط سپر کوبی (Braced sheet pile)

جداره های مهاربندی شده توسط شمع های درجا (Bored pile walls)

جداره های مهار بندی شده توسط دیوار دیافراگمی (Diaphragm walls-Slurry wall)

جداره های مهاربندی شده توسط نیلینگ (Soil nailing)

روش های متداول مهار بندی گود

مهار بندی جداره ها توسط المان های پشت بندهای افقی و مایل (struts Braced wall using wale)

این روش ساده برای نگهداری و حفاظت جداره های حاصل از گودبرداری و برای جلوگیری از تغییر مکان های جانبی در گودهایی با عرض کم در محیط های شهری استفاده می شود از معایب این روش اتلاف قابل توجهی از فضای کاری داخل گود و محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز و همچنین افزایش ریسک برخورد با المان ها و به مخاطره انداختن آنها می باشد.



مهاربندی توسط المان های کششی (lagging & Soldier beam)

از این روش بعنوان روش متداول در پایدار سازی موقت گود در مناطق شهری استفاده می گردد. در این روش از پروفیل های معمول فولادی بصورت ستونهای پیوسته که درون خاک فرو برده می شوند استفاده می گردد که تا عمق کف گود اجرا خواهند

شد. فاصله بین المان ها بین ۲ الی ۴ متر می باشد بطوریکه بتوان فضای بین آنها را با الوارهای چوبی (لارده چینی) پر نمود. در این روش از مهارهای کششی به منظور حفاظت جانبی گود استفاده می شود و اتصال ما بین ستونها توسط میل مهارها و جوشکاری انجام می شود.



مهاربندی توسط سپر کوبی (Braced sheet pile)

در این روش صفحات فلزی Sheet pile داخل خاک و جداره گود توسط چکش پنوماتیک و با استفاده از لرزش کوبیده می شوند و با انواع اتصالات بین خود به یکدیگر متصل شده و یک جداره پیوسته را تشکیل می دهند از مزایای این روش راحتی در کوبیدن - نصب و بیرون کشیدن آنها به دیگر روش ها برتری داشته و مصالح آن مجددا قابل استفاده در پروژه های دیگر می باشد، همچنین در این روش به المانهای افقی و مایل کمتری نیاز می باشد.

بنابراین محدودیت های اشغال فضای داخل گود کمتر وجود دارد. لیکن از جمله معایب این روش وابستگی به نصب سپرهای فلزی می باشند که در محیط های شهری بدلیل وجود تاسیسات زیربنایی شهری و ایجاد لرزش و صدای ناشی از کوبش سپرها محدودیت هایی را بوجود می آورد. همچنین کوبیدن سپرها در زمین های سنگی و یا خاک های بسیار متراکم به سختی انجام پذیر است و در زمین های با شرایط بالا با محدودیت مواجهه می گردد.



مهار بندی توسط شمع های درجا (Bored pile walls)

یکی از روشهای متداول در پایداری و حفاظت جداره ها با شرایط متنوع اعم از زمین سخت و سست و نرم استفاده از شمع های درجا می باشد و در برخی موارد علاوه بر ایفای نقش حفاظت جانبی نقش آب بندی را نیز انجام می دهد و همواره در صورت نیاز بار قائم نیز تحمل می کند. مهار بندی جداره ها توسط شمع های درجا در موارد زیر بعنوان گزینه برتر برای سیستم های حفاظت جانبی گود مطرح می باشند:

- در مواردی که امکان اجرای سپر فولادی (کوبیدن و نصب) وجود ندارد و یا سختی و تراکم زمین بیش از حد توان سپر کوبی و با دشواری زیادی مواجهه می باشد.
- در شرایطی که بدلیل وجود آبهای زیر زمینی و بالا بودن سطح آن نیاز به آب بند بودن جداره می باشد.
- در مواردی که امکان ایجاد مهارهای جانبی (کششی) در زیر ساختمان های مجاور ناشی از گودبرداری وجود ندارد و یا در تلاقی با تاسیسات زیر بنایی شهری و مستحذات زیرزمینی (تونل) باشد.
- در مواقعی که امکان استفاده از سیستم حفاظت گود بعنوان بخشی از سازه اصلی و باربری وجود داشته باشد.



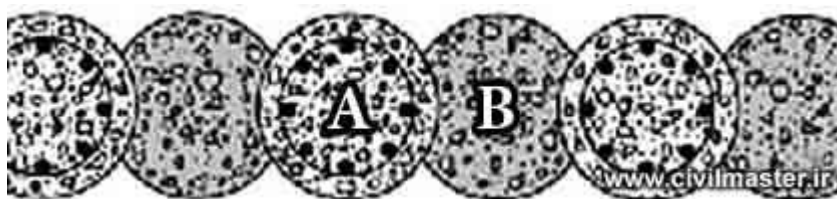
روشهای مختلف برای اجرای تکنیک های شمع های درجا ریز وجود دارد و متداول ترین آنها عبارتند از:

الف: اجرای دیوار محافظت پیوسته (آب بند)

ب: اجرای دیوار محافظت ناپیوسته

الف) اجرای دیوار محافظ پیوسته (آب بند)

در این روش ابتدا شمع هایی با بتن پلاستیک یک در میان حفاری و اجرا می گردد و سپس با رعایت هم پوشانی شمع های اصلی و سازه ای با رعایت احداث جداره زنجیره ای و پیوسته اجرا می گردد.



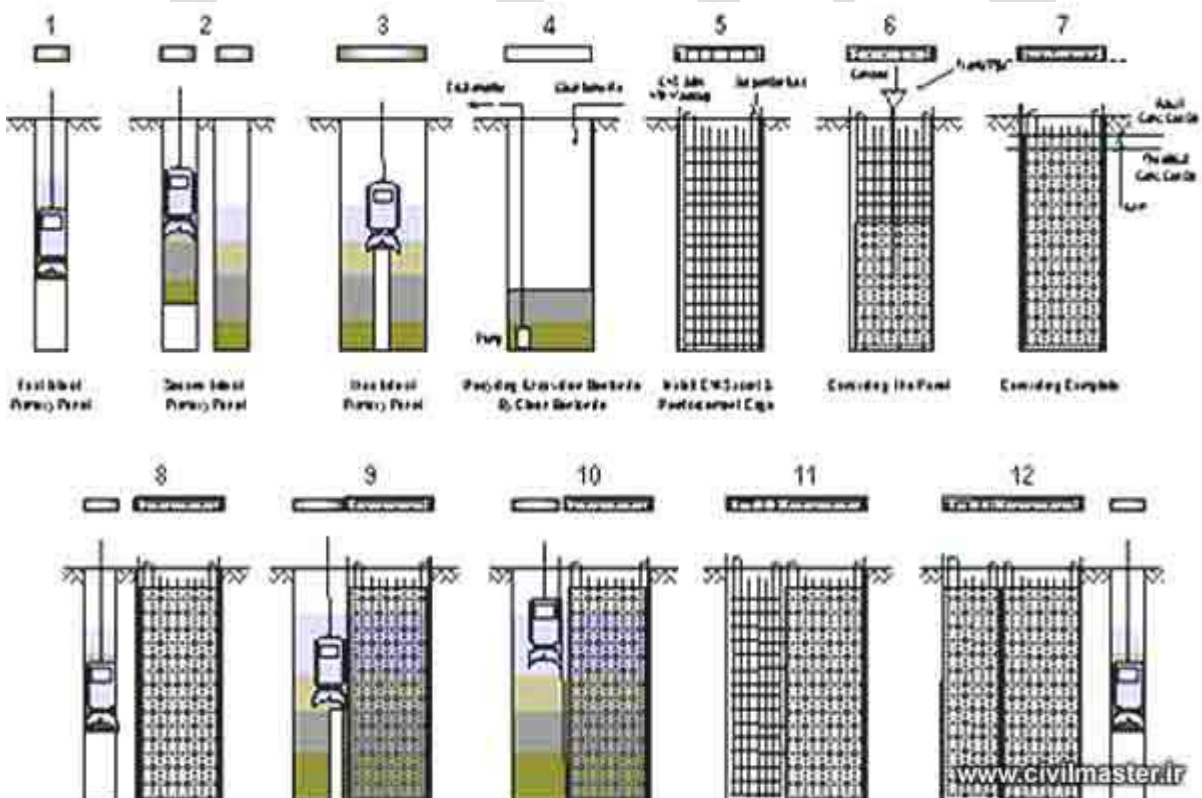
ب) اجرای دیوار محافظت ناپیوسته

در مواردیکه توده خاک و سنگ دارای چسبندگی زیاد بوده و سطح آبهای زیر پایین بوده می توان از شمع های درجا ریز ناپیوسته و با فاصله استفاده نمود. در این روش بدلیل چسبندگی بین دانه ها خاک بین شمع ها با وجود پدیده قوس خوردگی پایداری جانبی وجود دارد. با در نظر گرفتن شرایط و پارامترهای ژئوتکنیکی خاک معمولا حداکثر فاصله محور تا محور شمع های اصلی ۲ برابر قطر شمع ها می باشد همچنین در این روش پایداری در برابر نیروهای جانبی نیز مدنظر قرار می گیرد این روش در پایداری های کوتاه مدت کارایی داشته و در اثر مرور زمین احتمال هوازگی بین شمع ها وجود دارد و در دراز مدت نیز تغییر مشخصات خاک و برخی از پارامترهای آن مانند از دست دادن آب و یا حالت اشباع پیدا نمودن آن باعث ریزش خاک بین شمع ها شده و برای جلوگیری از آن می توان از بتن پاشی (شاتکریت) و با بستن مش پوشش لازم را جهت پایداری ایجاد نمود.



مهاری بندی توسط دیوار دیافراگمی (Diaphragm walls-Slurry wall)

یکی دیگر از روشهای محافظت از جداره گود احداث دیوار دیافراگمی و یا دیوار دوغابی Slurry Wall می باشد. در این روش ابتدا توسط دستگاههای گراب متناسب با شرایط زمین حفاری قسمتی از دیوار انجام می شود و همزمان با حفاری جهت پایداری جداره دیواره حفاری شده و جلوگیری از ریزشهای موضعی از دوغاب بنتونیت استفاده می شود تشکیل کیک بنتونیت در داخل دیواره حفاری شده و نفوذ در لایه های دانه ای جداره باعث می گردد جداره همواره پایدار بماند و سپس بلافاصله پس از رسیدن به عمق مورد نظر آرماتور گذاری شده و در نهایت بتن ریزی می گردد. این روش در زیر هسته سدهای خاکی نیز کاربرد بسیار دارد و از هرگونه نشستی را جلوگیری می نماید. استفاده از این تکنیک در مناطق شهری نیز با محدودیت های نظیر استفاده از روش مهاری بندی افقی و مایل و المانهای کششی دارا می باشد.



جداره های مهاربندی شده توسط نیلینگ (Soil nailing)

این روش از حدود سه دهه اخیر آغاز شده و تاکنون نیز بعنوان یک تکنیک برای پایداری ترانشه ها و حفاظت گود با انعطاف پذیری بالا استفاده می گردد.



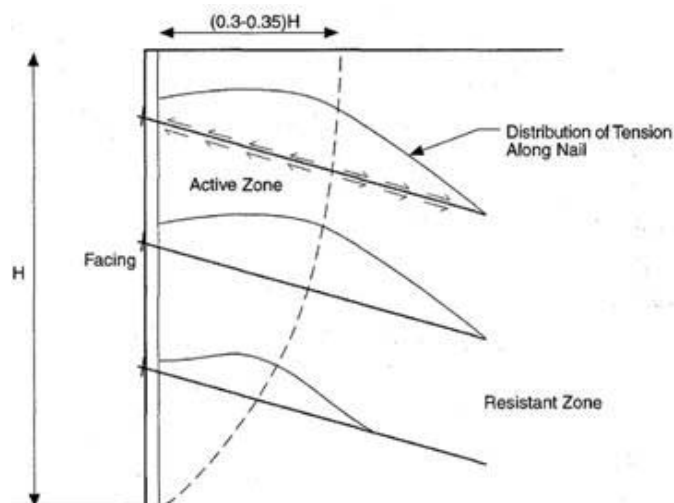
میخ کوبی دیواره ها به معنای تسلیح برجای خاک موجود با نصب میلگردهای فولادی نزدیک به هم (Nails) در یک سطح شیبدار یا در محل گودبرداری و با اجرای از بالا به پایین می باشد. میلگردها معمولاً داخل گمانه هایی که در دیواره خاکی ایجاد شده و توسط دوغاب سیمان با هدف جلوگیری از خوردگی میلگردها و همچنین انتقال مناسب تر نیروها بین خاک و میلگرد پر می شوند، قرار می گیرند. این عملیات یک مقطع مسلح پایدار ایجاد می کند که توانایی نگهداری خاک پشت خود را دارد. این مسلح سازی بصورت Passive عمل کرده و اثر خود را از طریق اندرکنش خاک-میلگرد حاصل از ایجاد تغییر شکل در خاک، اعمال می کند. Nail ها غالباً در کشش عمل می کنند ولی در شرایط خاصی، عملکرد خمشی و برشی آنها نیز در نظر گرفته می شود. موارد ذکر شده در شکل روبرو نشان داده شده است.

اثر مسلح سازی برای بهبود پایداری با دو عملکرد زیر حاصل می شود:

افزایش نیروی قائم و در نتیجه مقاومت برشی در سطح لغزش، در خاکهای اصطکاکی.

کاهش نیروی رانشی در سطح لغزش در خاکهای اصطکاکی و چسبنده.

پس از نصب میلگردها، یک دیواره سطحی کم ضخامت که معمولاً شامل شاکریت با تسلیح سبک می باشد، سطح دیواره شیروانی یا گود را می پوشاند. هدف از اجرای این دیواره جلوگیری از فرسایش سطحی خاک، ایجاد سطح تمام شده مناسبتر برای ساخت و سازهای احتمالی بعدی و بالاخص افزایش بازدهی عملکرد سیستم خاک تحکیم یافته بویژه در بخشهای نزدیک به دیواره گود می باشد.



دامنه کاربرد

میخکوبی خاک روش جدیدی است که به دلیل اقتصادی بودن و مزایای منحصربفرد خود، به عنوان راه حل بسیار مناسبی در موارد مختلف از جمله پایدارسازی شیبها و شیروانیها و افزایش ظرفیت باربری و محدود کردن تغییر شکلها با ایجاد حداقل دست خوردگی در وضعیت طبیعی زمین کاربردهای فراوانی دارد. استفاده از این روش تسلیح خاک، طی دو دهه اخیر در اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه جهت پایدارسازی گودبرداریها و همچنین پایدارسازی شیبهای طبیعی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. برخی از کاربردهای وسیع این روش تسلیح خاک شامل پایدارسازی شیبهای طبیعی و یا ترانشه‌های مجاور راهها، تعریض راهها، گودبرداری در مجاورت سازه‌های موجود، پایدارسازی و مقاوم سازی سازه‌های نگهبان قدیمی و ... می‌باشد.

روش اجرای نیلینگ (nailing)

تئوری استفاده از روش نیلینگ بر مبنای مسلح کردن و مقاوم نمودن توده خاک با استفاده از دوختن توده خاک توسط مهارهای کششی فولادی Nail با فواصل نزدیک به یکدیگر می‌باشد. استفاده از این روش موجب:

- ۱- افزایش مقاومت برشی توده خاک می‌گردد.
 - ۲- محدود نمودن و تحت کنترل در آوردن تغییر مکانهای خاک در اثر افزایش مقاومت برشی در سطح لغزش Slid بدلیل افزایش نیروی قائم می‌شود.
 - ۳- باعث کاهش نیروی لغزش در سطح گسیختگی و لغزشی می‌شود.
- باید توجه داشت کلیه سطوح ترانشه‌های حفاری شده که توسط نیلینگ بایستی مسلح شوند با استفاده از شبکه مش و شاتکریت ابتدا حفاظت شده و سپس سیستم نیلینگ روی آنها اجرا می‌شوند.

کاربرد نیلینگ در پروژه های عمرانی

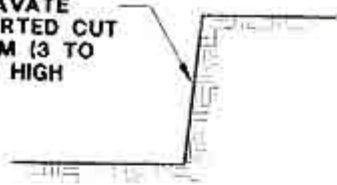
- ۱- پایداری ترانشه‌ها در احداث بزرگراه‌ها و راه آهن‌ها.
- ۲- پایداری جداره تونلها وسازه های زیر زمینی.
- ۳- پایدار سازی و حفاظت گود در سازه های مناطق شهری، ساختمانهای مجاور گود، ایستگاه های زیر زمینی مترو و...
- ۴- پایدار سازی کوله های مجاور پل ها در زمین های سست و ریزشی.

مهار کششی نیلینگ معمولاً از آرماتورهای فولادی با قطر ۲۰ الی ۴۰ میلیمتر و با حد تسلیم ۴۲۰ الی ۵۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع استفاده می‌شوند که درون یک چال حفاری شده با قطر ۷۶ الی ۱۵۰ میلیمتر قرار گرفته و دور آن درون چال تزریق می‌گردد. فواصل بین مهارهای کششی در حدود ۱ الی ۲ متر می‌باشد و طول آنها نیز در حدود ۷۰ الی ۱۰۰ درصد ارتفاع گود می‌باشد و حداقل شیب نسبت به افق حدوداً ۱۵ درجه می‌باشد. باید توجه داشت که رویه شاتکریت شده روی ترانشه‌های حفاری شده نقش سازه ای نداشته اما می‌توان جهت اطمینان برای پایداری موقت خاک بین مهارها استفاده نمود.

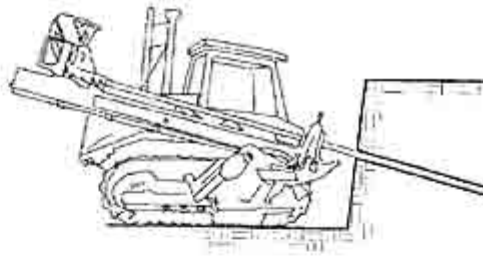
مراحل اجرای سیستم نیلینگ (nailing)

- مطابق با شکل مراحل اجرای نیلینگ بصورت شماتیک نشان داده شده است .
- ۱- گودبرداری در مرحله اول ترانشه و یا گود و ایجاد پله بعدی عملیات.
 - ۲- حفاری چال جهت نصب مهار کششی Nail.
 - ۳- قراردادن آرماتور داخل چال و تزریق چال.
 - ۴- اجرای سیستم زهکشی و اجرای شاتکریت جداره و نصب ضخامت فولادی.
 - ۵- گودبرداری مرحله بعدی ترانشه و یا گود و ایجاد پله های بعدی عملیات.
 - ۶- اجرای پوشش شاتکریت نهایی پس از اتمام آخرین مرحله حفاری.

EXCAVATE UNSUPPORTED CUT 1 TO 2M (3 TO 6FT) HIGH



STEP 1. EXCAVATE SMALL CUT



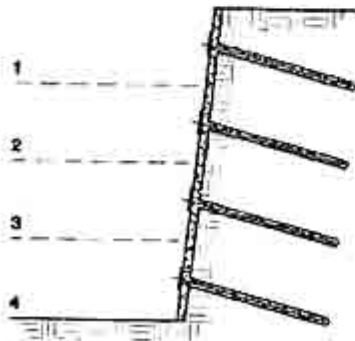
STEP 2. DRILL HOLE FOR NAIL



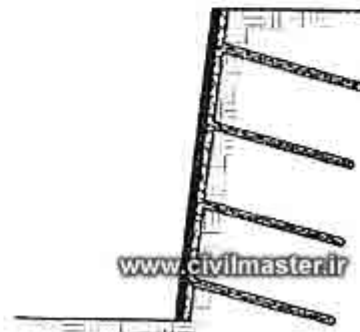
STEP 3. INSTALL AND GROUT NAIL



STEP 4. PLACE DRAINAGE STRIPS, INITIAL SHOTCRETE LAYER & INSTALL BEARING PLATES/NUTS



STEP 5. REPEAT PROCESS TO FINAL GRADE



STEP 6. PLACE FINAL FACING (ON PERMANENT WALLS)

روش اجرای میخکوبی (Nailing)

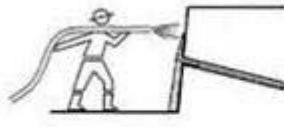
روش پیشنهادی این شرکت به منظور اجرای Nailing جهت پایدارسازی دیواره گودها معمولاً مشتمل بر ۵ مرحله اصلی گودبرداری مقطعی، حفاری گمانه‌ها، نصب میلگرد تسلیح، تزریق دوغاب سیمان، بتن پاشی و نصب صفحه سر نیل و مهره می‌باشد. پس از تکمیل مراحل اجرایی فوق برای گام اول گودبرداری، این مراحل برای گامهای بعدی گودبرداری تا رسیدن به رقوم کف گود مورد نظر، تکرار می‌گردد. این مراحل به طور شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است.



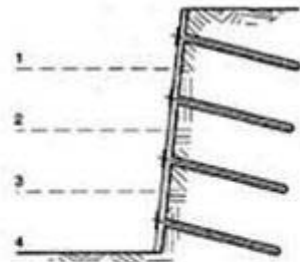
for Nail



STEP 3. Install and Grout Nail



STEP 4. Place Drainage Strips, Initial Shotcrete Layer & Install Bearing Plates/Nuts



STEP 5. Repeat Process to Final Grade

خاکبرداری

خاکبرداری می‌بایست به صورت مرحله به مرحله انجام شده و پس از انجام هر مرحله از خاکبرداری می‌بایست عملیات اجرای Nailing در آن مرحله صورت گیرد و پس از اتمام عملیات، خاکبرداری مرحله بعد انجام می‌پذیرد. در هر مرحله خاکبرداری، دیواره ایجاد شده بایستی پایداری لازم در حین اجرای Nailing را داشته باشد، بنابراین باتوجه به شرایط ژئوتکنیکی خاک ساختمانگاه ارتفاع مجاز خاکبرداری در هر مرحله تعیین می‌گردد.

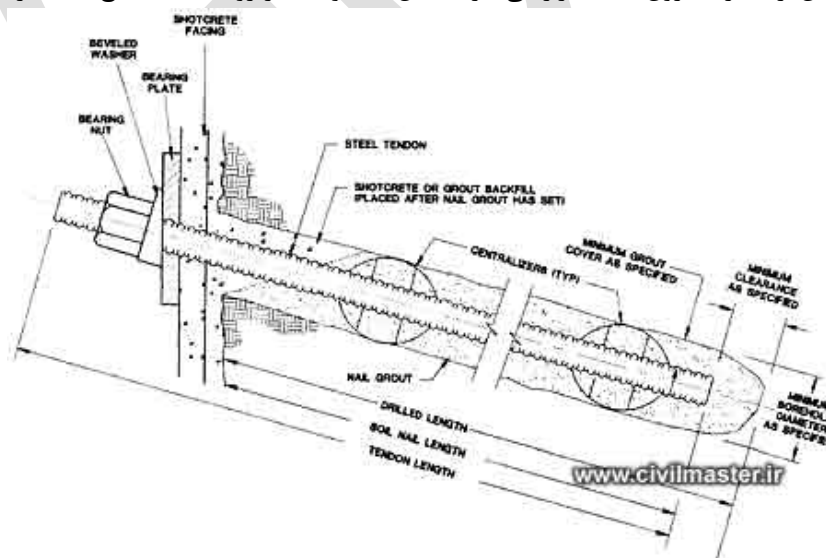
حفاری

حفاری محل میخها می‌بایست در فواصل مشخص مطابق نقشه‌های اجرایی به وسیله دستگاه حفاری ضربه‌ای D.T.H و یا مشابه آن صورت گیرد. حفاری گمانه‌های مورد نظر می‌تواند در جبهه‌های مختلف کاری صورت پذیرد. شکل ۳ نمونه‌ای از انجام عملیات حفاری را نشان می‌دهد.



نصب میلگرد تسلیح

پس از حفاری گمانه تا عمق موردنظر، عملیات نصب میلگرد تسلیح صورت می‌پذیرد. عناصر تسلیح معمولاً شامل آرماتور فولادی می‌باشد که پس از حفاری درون گمانه قرار می‌گیرد. شکل ۴ نمونه‌ای از روند نصب مسلح کننده را نشان می‌دهد.





تزریق دوغاب سیمان

بعد از نصب آرماتور، تزریق دوغاب از داخل سوراخهای حفر شده جهت ایجاد پیوستگی آرماتور با خاک اطراف انجام می‌شود. مجموعه دستگاه تزریق از سه بخش میکسر اولیه، ثانویه و پمپ تزریق تشکیل می‌گردد. پس از اختلاط آب و سیمان به نسبت مشخص در میکسرها، دوغاب سیمان از طریق شیلنگ‌های رفت و برگشت به درون گمانه حفر شده تزریق می‌گردد. بسته به شرایط این تزریق می‌تواند در فشارهای مختلفی صورت پذیرد.

شاتکریت دیواره، نصب صفحه، مهره و تنش‌دهی

پس از اتمام عملیات تزریق، سطح دیواره جهت جلوگیری از فرسایش و همچنین حفظ یکپارچگی بیشتر در عملکرد میخها، توسط یک لایه بتن‌پاشی شده (Shotcrete) پوشانده می‌شود. ضخامت این شاتکریت کم بوده و غالباً به ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر محدود می‌شود. همچنین پس از بتن‌پاشی جهت اتصال کامل سر میخها به دیواره و همچنین جلوگیری از بروز برش پانچ در دیواره و در صورت نیاز تنش‌دهی به میخها، یک صفحه فلزی به عنوان سر نیل بر روی دیواره قرار گرفته و توسط یک مهره به آرماتور درون گمانه متصل می‌شود. البته تعبیه صفحه سر نیل و تنش‌دهی در همه شرایط مورد نیاز نبوده و بسته به کاربری مورد انتظار از Nailing مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شکل ۵ نمونه‌هایی از اجرای بتن‌پاشی و نصب صفحه و مهره سر میخها را نمایش می‌دهد.



اصول طراحی نیلینگ (nailing)

مراحل طراحی سیستم نیلینگ مطابق زیر است:

- هندسه سازه مشخص گردد.
- عمق و زاویه شیب خاکبرداری مشخص گردد.
- بارگذاری و سربار بارهای وارده به Nail و موقعیت سطح افزایش تخمین زده شود.
- انتخاب نوع آرماتور شامل: سطح مقطع، طول و فاصله از یکدیگر و در هر تراز مقاومت موضعی آنها تضمین گردد تا مقاومت از نظر استحکام و ظرفیت چسبندگی برای تحمل نیروها تخمین زده شده و با ضریب اطمینان مناسب و قابل قبول کنترل شوند.
- پایداری کل سازه نگهدارنده و خاک اطراف آن در زمان حفاری گود و ایجاد پله های حفاری و بررسی و کنترل ضریب اطمینان قابل قبول.
- تخمین نیروهای وارده بر صفحه فولادی Bearing plate
- در نظر گرفتن سطح پیرومتریک آبهای زیر زمینی و لحاظ نمودن سیستم زهکش

مروری بر مبانی محاسباتی پایداری دیواره خاکی با روش Nailing

اصول محاسبات و طراحی Nailing بر مبنای طراحی سازه‌ای و ژئوتکنیکی میخها می‌باشد. در حقیقت با کنترل‌های ژئوتکنیکی مقادیر نیروهای بسیج شده در میخها به دست آمده و سپس مقطع سازه‌ای میخها برای نیروهای داخلی بدست آمده، طراحی می‌گردند. طراحی ژئوتکنیکی Nailing در چارچوب روش تعادل حدی و با مفهوم سطح گسیختگی بحرانی (Critical Slip Surface) انجام می‌شود. بر این اساس دیواره مسلح شده با Nailing به گونه‌ای طراحی می‌گردد که مکانیزمهای محتمل لغزش در خاک مسلح شده پشت دیواره تشکیل نگردند. آیین‌نامه‌ها سه نوع مکانیزم گسیختگی شامل گسیختگی داخلی، خارجی و مرکب برای کنترل پایداری داخلی، خارجی و مرکب دیواره‌های مسلح شده با میخکوبی در نظر می‌گیرند. کنترل پایداری داخلی منجر به محاسبه طول مورد نیاز میخها در قسمت پایدار توده خاکی می‌گردد. این طول بر اساس میزان مقاومت چسبندگی بین میخها و توده خاک طبیعی بدست می‌آید. با ارضای پایداری خارجی دیواره مسلح شده، در حقیقت آرایش کلی چیدمان میخها در ارتفاع، کنترل شده و این آرایش به نحوی انتخاب می‌شود که احتمال وقوع گسیختگی در چارچوب مکانیزمهای خارج از محدوده تسلیح رخ ندهد. در نهایت کنترل پایداری مرکب، احتمال وقوع هر گونه گسیختگی که بخشی از سطح گسیختگی در محدوده مسلح شده و بخش دیگر در محدوده خاک غیرمسلح واقع شود را نیز از بین می‌برد.

نهایتاً با استفاده از نیروهای داخلی بدست آمده برای هر یک از میخها، مقاومت سازه‌ای آنها کنترل شده و مقطع میخها به نحوی انتخاب می‌گردند که ظرفیت تحمل بار کششی اعمالی را داشته باشد. همچنین با استفاده از این نیروها و مفهوم برش پانچ در سر نیل و مهره ابعاد مناسب سر نیل و مهره و ضخامت بتن پاشی سطحی نیز محاسبه می‌شود در شرایطی که عملیات میخکوبی جهت پایداری دیواره گود و به همراه خاکبرداری مرحله به مرحله انجام می‌شود، لازم است پایداری دیواره میخکوبی شده در انتهای هر یک از مراحل خاکبرداری کنترل شود.

نتیجه گیری

استفاده از روش نیلینگ بعنوان یک سیستم حفاظت جداره ترانشه و گود در مناطق شهری و فضاهای محدود بسیار کارا بوده و بدلیل امکان همزمانی اجرا در چند جبهه کاری از سرعت خوبی برخوردار می‌باشد و با توجه به درجه پایداری امکان اجرای گود قائم وجود داشته و همچنین در انواع شرایط خاک، اجرای آن امکان پذیر می‌باشد که مهمترین ویژگی این روش محسوب می‌شود و برای سازه های زیر زمینی بخصوص در فضای های محدود شهری مانند ایستگاه های مترو مناسب می‌باشد.

مراجع

17,2004 TC -Soil Nailing Technical report IS SMFE
93-84excavations FHWA-RD- & Soil Nailing of High way slopes

عباسی، زابل، (۱۳۸۸)، چهارشنبه، ۲ دی ۱۳۸۸، ۰۰:۰۸

پروژه هزاره سوم

نمونه ای از یک پروژه با استفاده از سیستم نیلینگ

با توجه به عمق زیاد خاک برداری صورت گرفته در پروژه هزاره سوم و نوع خاک محل سایت بخصوص در قسمت‌های شمالی آن، ارتفاع خاک برداری شده نیاز به تحکیم، بمنظور حفظ خاک آن منطقه داشت. روش‌های مختلفی از قبیل شمع کوبی و یا ایجاد سازه نگهبان موقت توسط مشاوران پیشنهاد گردید. اما نهایتاً به دلیل مجاورت با خیابان شیخ بهایی، در ضلع شمالی غربی سایت، روش نیلینگ توسط مشاور محترم دریا، خاک پی - از مشاوران پروژه - پیشنهاد و مورد قبول واقع گردید. بدین منظور ابتدا کوله های سنگی موقت ایجاد شده در این قسمت به تدریج تخریب شده و همزمان با آن عملیات نیل گذاری داخل خاک و بتن ریزی از بالا به پایین صورت گرفت.

لازم به ذکر است در این روش از لحاظ تئوری گوه گسیختگی خاک تحت تاثیر بار، شناسایی شده و سپس تحت اثر تدابیری که برخی از آنها در اشکال ذیل مشخص است، گوه خاک مهار می گردد و به خاک پشت آن دوخته می شود. تخریب دیواره موقت سنگی در محوطه شمال غربی سایت با توجه به تراز ارتفاعی داده شده برای مقاومت خاک موجود و اجرای کوله های آجری.



همزمان با کار تخریب کوله های سنگی، به منظور هر چه ایمن کردن محوطه، ایجاد یک سری کوله های موقت در بستر کار نیز در دستور کار قرار گرفت.



تصویر سطح تمام شده شده قسمتی از محل های نیلینگ را نشان می دهد.



تصویر مراحل انتهایی عملیات نیلینگ را نشان می دهد. در عکس دستگاه مشغول پمپ دوغاب سیمان با فشار به داخل سوراخ ها است.



پس از انجام عملیات حفاری و میلگرد گذاری داخل سوراخ ایجاد شده ، سر حفره بسته شده و دوغاب سیمان به داخل سوراخ پمپ می شود.



عملیات نیلینگ بلافاصله پس از انجام عملیات خاک برداری صورت می گرفت.



سطح نیل شده و میلگرد گذاری شده که آماده برای بتن ریزی میباشد.



سطح قالب بندی شده به منظور بتن ریزی



مجموعه آرماتورگذاری و قالب بندی سطح نیلینگ در ذیل تراز کوله ها.



دکتر یوسف گرجی مہلبانی، ۱۳۸۹، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، مدیریت و تشکیلات کارگاهی