بسم الله الرحمن الرحيم
كلك ١٤١٧

Deep Soil Mixing

اختلاط عمیق خاک

پژوهش و نگارش:

سید قاسم احسانی

کارشناس ارشد عمران ژئوتکنیک

Ghasem.ehsani@yahoo.com

تعریف بهسازی

بازسازی کنترل شده خاک درجا برای استفاده مجدد در یک ساختار جدید ژئوتکنیکی، بهسازی و یا اصلاح خاک نامیده می شود. ویژگیهای اصلی بهسازی به شرح زیر است :

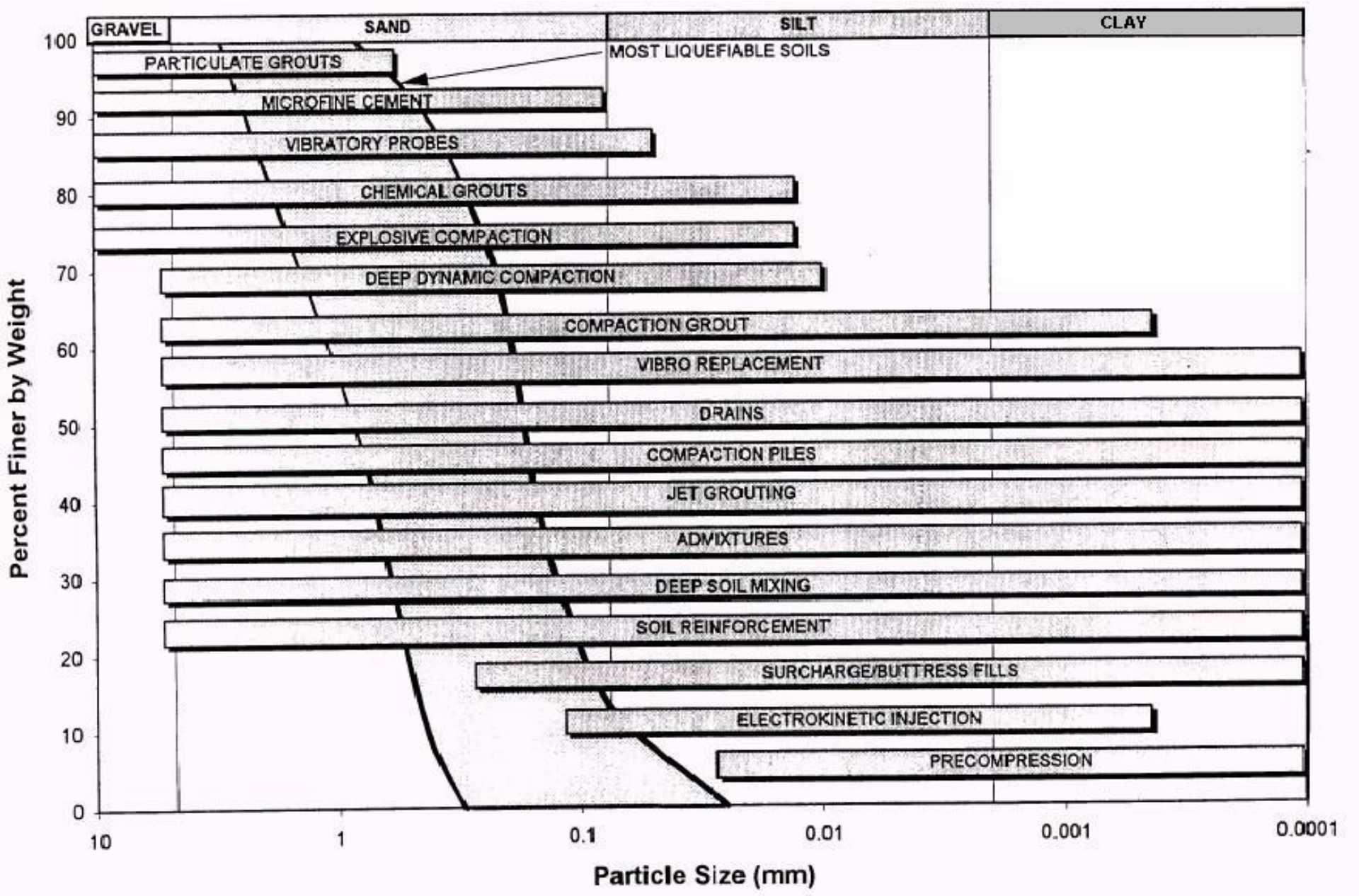
۱- زمین درجا اصلاح می شود

۲- مشخصات فنی ژئوتکنیکی آن به سطح قابل قبول می رسد

۳- زمین بخشی از سیستم خاک – سازه می گردد

۴- کنترل و تایید کیفی کار مقدور است

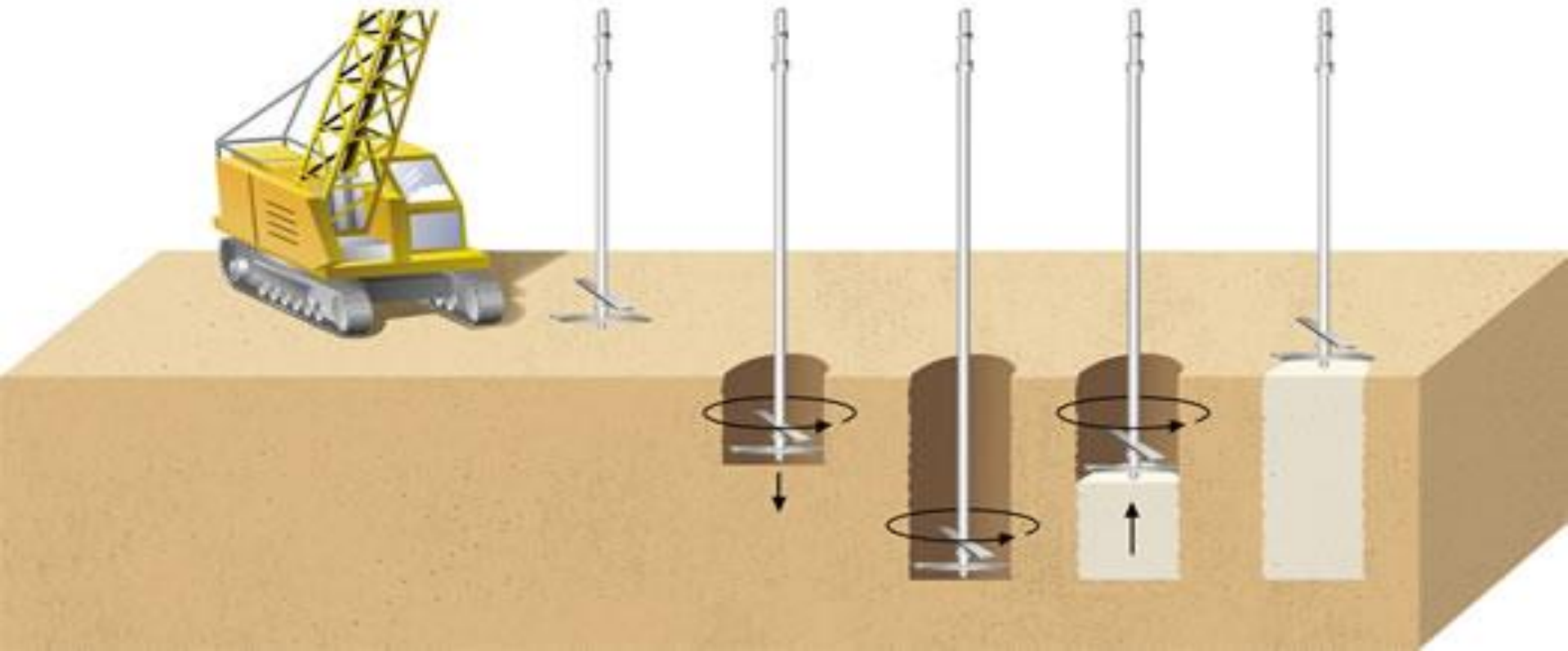
کاربرد روش های بهسازی برحسب نوع خاک



Deep Soil Mixing چیست؟

بر طبق استاندارد prEN 14679 (2005) اختلاطی که توسط ماشین آلات دوار اختلاط در عمق خاک به نحوی صورت گیرد که ساپورت های جانبی خاک اطراف آن منطقه از جای خود خارج نگردد.

اختلاط عمیق به عملیات بر روی خاک های با حداقل عمق ۳ متر گفته می شود.

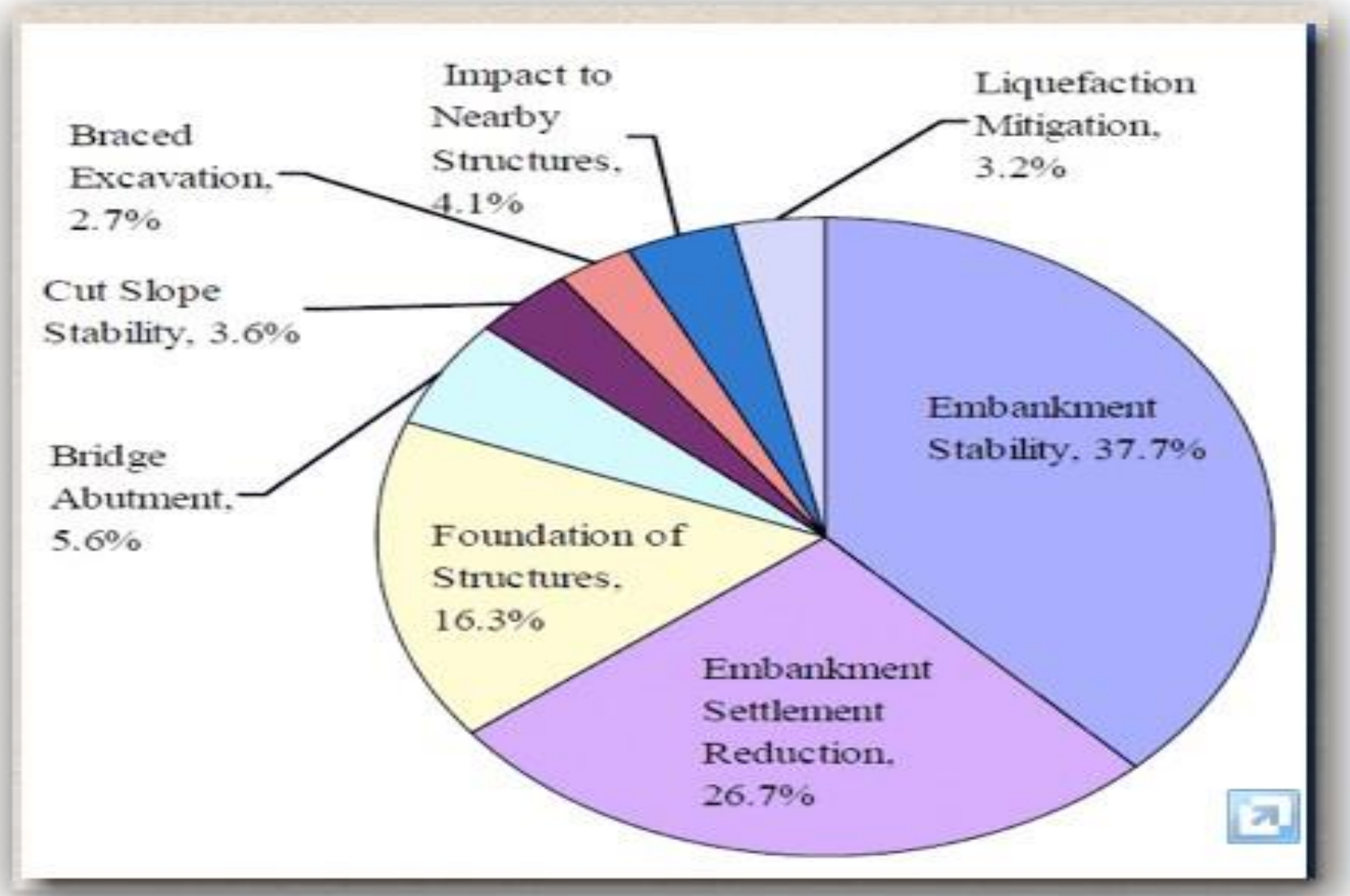


اختلاط خاک

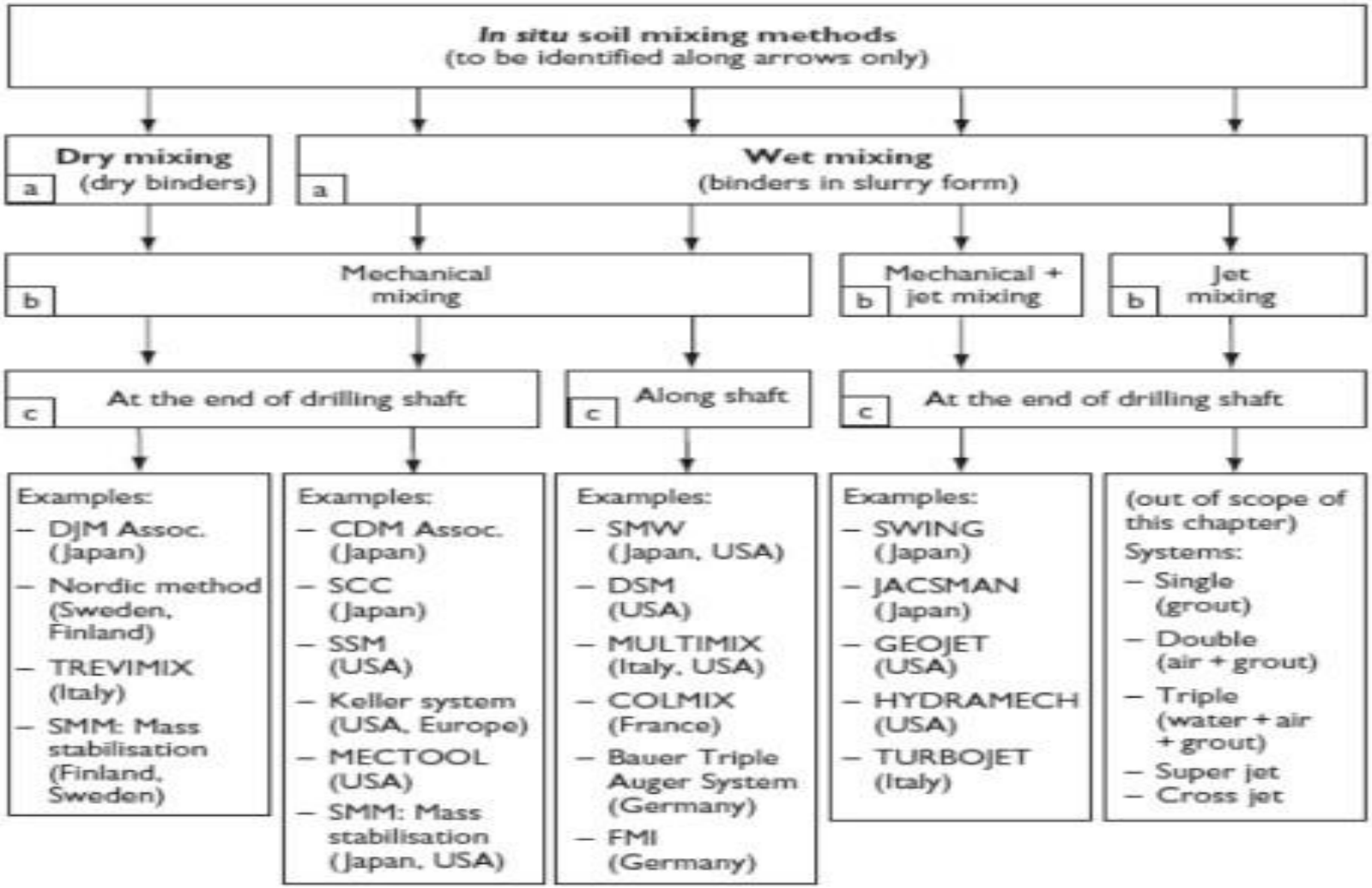
این روش مخلوط کردن مکانیکی خاک درجا با مواد افزودنی از قبیل سیمان, آهک و... توسط اوگرهای توخالی مخصوص است. هدف از اختلاط خاک دست یابی به پارامترهای ژئوتکنیکی اصلاح شده از قبیل مقاومت فشاری, مقاومت برشی و یا نفوذپذیری است. اختلاط خاک برای محدود کردن و یا ثابت نمودن مواد شیمیایی مضر در خاک نیزکاربرد دارد.

باپیشروی پره های اختلاط خاک در زمین, مواد افزودنی که از داخل اوگرهای توخالی منتقل شده اند با خاک مخلوط می گردند. ستون های منفرد و یا دیوارهای یکپارچه توسط چرخش اوگرها ساخته میشود.

Deep Soil Mixing



طبقه بندی DSM



General classification of in situ soil mixing

مواد افزودنی

- معمولا سیمان بصورت دوغاب (ترکیب با آب) با خاک مخلوط می شود. هر چند امکان استفاده از سیمان بصورت خشک نیز مقدور است, برحسب نوع خاک حجم دوغاب بین ۲۰ تا ۳۰ درصد حجم خاک انتخاب می شود.
- در استفاده مشترک از سیمان و آهک ,نسبت اختلاط حدود ۱به۴ است و مجموعه این دو به میزان حدود۱۰۰تا۲۰۰ کیلوگرم به هر متر مکعب خاک اصلاح نشده اضافه می شود.

افزودنی ها شامل مواد زیر می شوند :

- سیمان
- خاکستر آتشفشانی
- سرباره کوره
- آهک
- سایر مواد شیمیایی

تجهیزات

اوگر تک محوره

معمولا برحسب نوع خاک ابزار اختلاط برای هر پروژه طراحی و ساخته می شود. در ساخت وسیله اختلاط نکات زیر تاثیر دارد.

- نوع خاک و دستگاه موجود برای اعمال تورک
- طراحی برای هر پروژه معمولا موردی است.
- اندازه قطر بین۵ / ۰ تا ۵ / ۳ متر است.
- سیستم اجرایی ترکیبی از پیشرو , پره های اختلاط, خروجی های تزریق و پره های برشی است.

کلی (Kelly) و هرزه گرد

- کلی وظیفه انتقال ترک و اعمال فشار محوری روی اوگر را انجام می دهد.
- هرزه گرد ارتباط کلی با سیستم مواد افزودنی را در طول چرخش بعهده دارد
- کلی می تواند دارای یک و یا دو مجرای خروجی برای تزریق دوغاب باشد

دستگاه اختلاط

- نوع دستگاه حفاری برای رانش ابزار, می تواند از دستگاههای هیدرولیکی حفر شمع یا دستگاههای مخصوص اختلاط با دو موتور, نصب شده روی دکل جرثقیل باشد.
- مقدار ترک مورد نیاز برای یک دستگاه متوسط حدود ۱ تن- متر است.

ساخت دوغاب

- سیستم اختلاط مرکزی, با میکسرهای دور بالا برای اختلاط
- محل ذخیره موقت دوغاب همراه با همزن های دور پایین
- سیستم پمپاژ , از انواع پمپ های مونو , پیستونی و ...

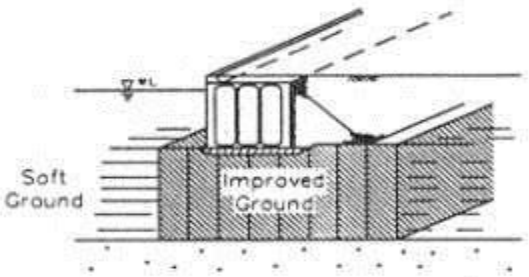
موارد کاربرد DSM

- اجرای دیواره های قائم و دیوارهای نگهدارنده حفاری
- حفاظت شیب خاکبرداری ها و پایدارسازی شیب های طبیعی
- توسعه بنادراز طریق استحصال زمین از دریا
- ایجاد دیوار های آب بند (cut off wall) در سدهای خاکی
- ایجاد جزیره در دریا از طریق احداث dike و بهسازی مصالح حاصل از لایروبی
- کنترل روانگرایی Liquefaction mitigation
- پایدار سازی تونل
- تقویت پی

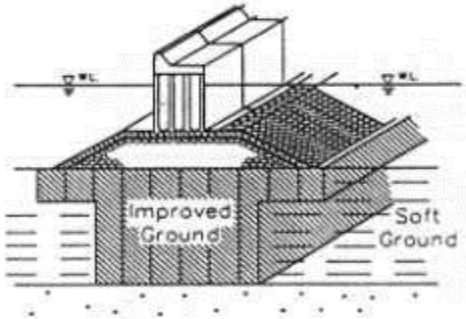
سایرموارد کاربرد

- دیوارهای جداکننده هیدرولیکی Hydraulic cut-off wall (Japan, US)
- دیوارهای نگهدارنده حفاری Excavation support wall (Japan, china, US)
- بهسازی زمین Ground treatment (Japan, china, US)
- کنترل روانگرایی Liquefaction mitigation (Japan, US)
- راهکارهای زیست محیطی Environmental remediation (US, UK)

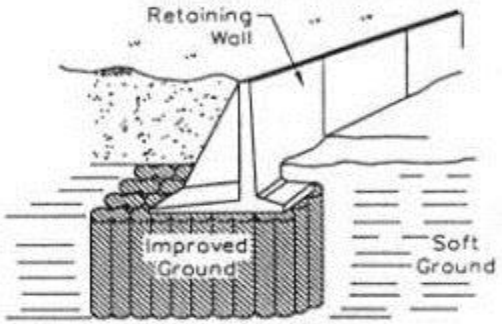
موارد استفاده از اختلاط خاک



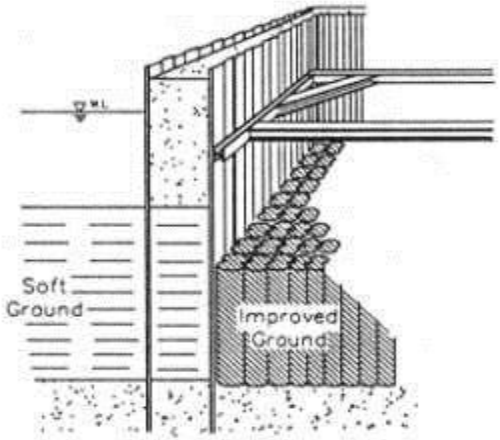
Sea Wall Foundation



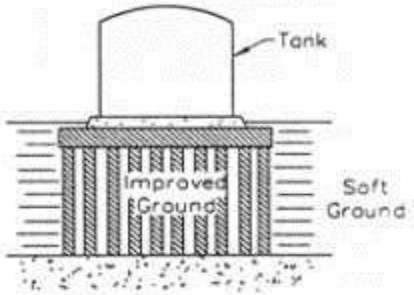
Breakwater Foundation



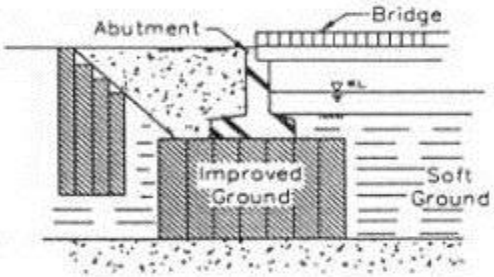
Retaining Wall Foundation



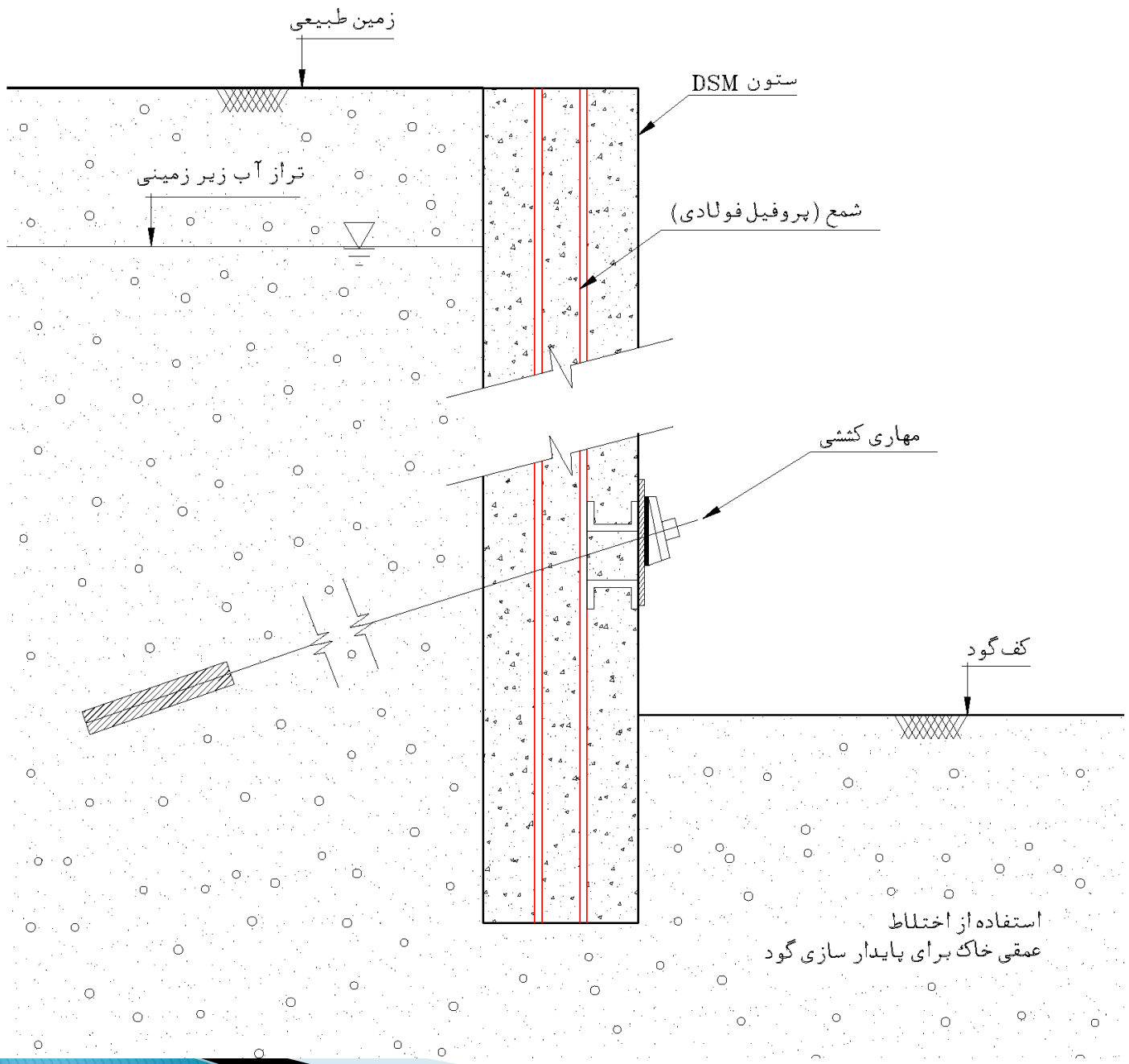
Temporary Retaining Structure



Tank Foundation



Abutment Foundation


زمین طبیعی
ستون DSM
تراز آب زیر زمینی
شمع (پروفیل فولادی)
مهاری کششی
کف گود
استفاده از اختلاط
عمقی خاک برای پایدار سازی گود

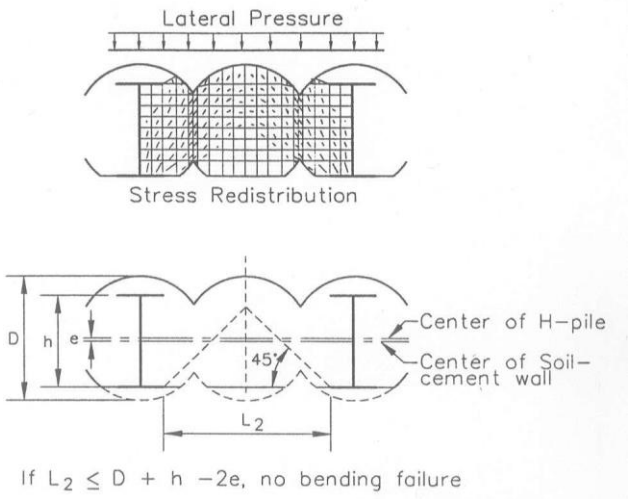
اختلاط خاک برای پایدار سازی گود

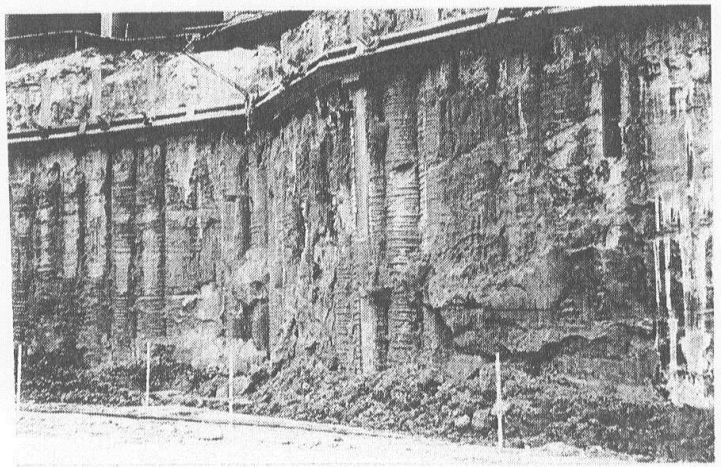
Exposed sea bottom improved by Wet type Deep Mixing Method at the intake of Aioi thermoelectric power station

Retaining Wall by Deep Mixing columns
- Fly ash cement mixture is used as the stabilizer

Excavated surface of Retaining Wall by Deep Mixing columns

طراحی اختلاط خاک با مقاطع H





Soil Mix Wall for Excavation Support and Groundwater Control Near BART Structure (85 feet deep cutoff wall in high permeability Merritt Sand with groundwater at 8 feet below ground surface) Cypress Replacement Project, California Department of Transportation, Oakland, CA, 1996

نوع خاک و عمق اصلاح

- خاک نرم و مرطوب
- اصلاح خاک تا عمق ۵۰ متر
- خاکهای غیرچسبنده معمولاساده تر از خاکهای چسبنده مخلوط می شوند. خاکهای چسبنده بسته به میزان پلاستیسیته و رطوبت خود انرژی متفاوتی برای اختلاط نیاز دارند. به خاکهای نباتی مقادیر قابل ملاحظه ای از مواد افزودنی باید اضافه نمود و قبل از شروع عملیات اجرایی لازم است از عملکرد سیستم اختلاط در آزمایشگاه اطمینان حاصل کرد

اهمیت ژئوتکنیکی روش DSM

با اختلاط خاک در محل می توان انواع متفاوت خاکها را اصلاح نمود. روش اصلاح بسته به میزان انرژی اختلاط و نوع مواد افزودنی متفاوت است. در خاک های نرم , در مقایسه با سایر روش های اصلاح خاک , این روش از اقتصادی ترین شیوه های بهبود است. در این روش , با اختلاط دوغاب با خاک, مصالحی ساخته می شود که باگذشت زمان سخت تر شده و مقاومت آن افزایش می یابد و می تواند بعنوان مصالح مهندسی با خصوصیات ژئوتکنیکی بهتر از خاک محل در طراحی ها استفاده گردد.

مقاومت مخلوط خاک

مقاومت تک محوری بین 0.7 تا 35 کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست می آید. مقدار این مقاومت به نوع خاک و میزان مواد افزودنی بستگی دارد. خاک مخلوط شده شکننده بوده و حداکثر مقاومت آن در تغییر شکل هایی حدود 1 درصد بدست می آید.

کنترل های کیفی

- مدارک تهیه شده برای اجرا شامل :
- ساخت نمونه های آزمایشگاهی برای تعیین بهترین نسبت اختلاط و روش های اجرا

- شماره ستون
- قطر ستون
- درجه بندی نوع اختلاط
- عمق اختلاط
- زمان شروع / زمان در انتهای عمق ستون/ زمان خاتمه
- مدت اختلاط
- جزئیات دوغاب
- دبی و فشار تزریق دوغاب
- حجم کل دوغاب تزریق شده
- سرعت چرخش در پیشروی و پسروی

از اطلاعات زیر انرژی اختلاط و درصد مواد افزودنی محاسبه و نتایج آزمایش های آزمایشگاهی با اجرای ستون های کارگاهی هماهنگ می شود.

- اخذ نمونه تازه برای آزمایش های آزمایشگاهی
- انجام آزمایش CPT قبل و بعد از اختلاط
- در اختلاط های با قطر بزرگ , حفاری شافت (گمانه دستی) و تشریح نظری
- اندازه گیری های صحرایی بعد از ساخت
- تجزیه و تحلیل سیستم مرکب خاک طبیعی – خاک مخلوط همراه بااعمال بارهای وارده توسط برنامه

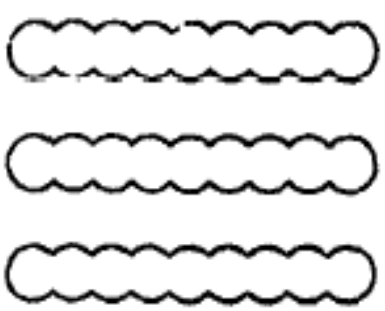
مزایای سیستم اختلاط خاک

- خاک های نرم و چسبنده مرطوب در زمانی کوتاه اصلاح می شوند و ساخت و ساز در این خاک ها سریعا امکان پذیر خواهد بود .
- این روش برای اصلاح خاک زیر پی ها هم بصورت موضعی ونه کل محوطه , دیوارهای حایل و یا کل محوطه کاربرد دارد.
- با الگو ها و آرایش های متنوع و در پلان های پیچیده قابلیت اجرا دارد.
- قابلیت طراحی و کنترل مشخصات مهندسی خاک بهسازی شده
- تنش های جانبی در حین اجرا بسیار اندک : نه خاکبرداری و نه ارتعاش
- سر و صدای خیلی کم
- ضایعات خیلی کم
- قابلیت اجرا هم در خشکی و هم دریا
- امکان کنترل کیفیت و نظارت در حین اجرا
- مشکلات زیست محیطی ندارد

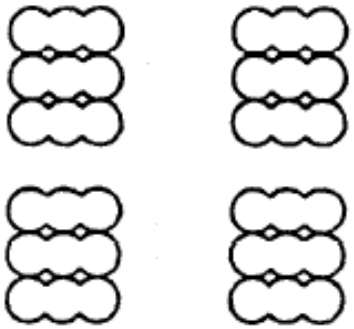
محدودیت ها

- محدود بودن عمق اجرا
- لزوم انجام حفاری در موارد لایه سست در زیر لایه مقاوم بالایی
- فقط به صورت ستونهای عمودی قابل اجرا است
- خاک بهسازی شده کاملاً یکنواخت نیست.
- زیر سازه های موجود نمی توان اجرا کرد.
- وزن تجهیزات خیلی بالا بوده و برای نصب نیاز به platform دارد.

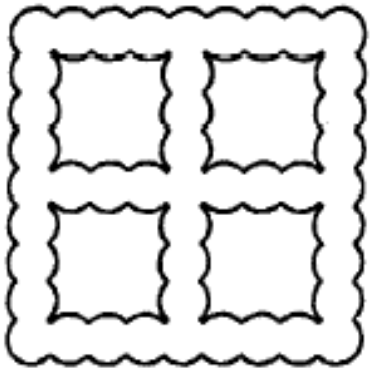
Design of DSM wall



Wall Type



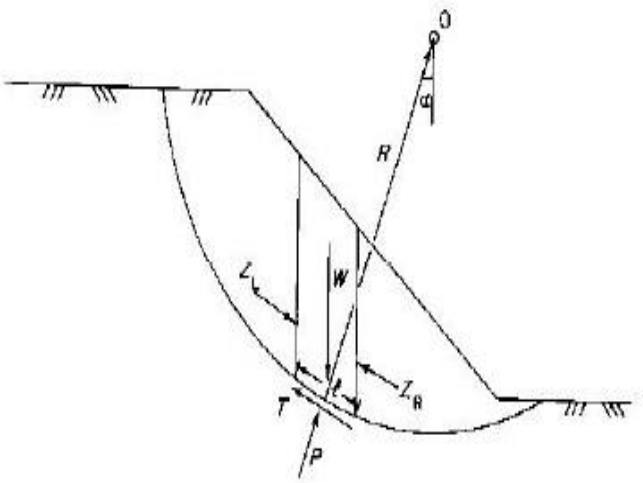
Block Type



Grid Type

- تحقیقات میدانی
  - حساسیت های نشست زمین
  - حساسیت های لرزه ای
  - بالاترین سطح آب زیر زمینی
  - میزان نرمی خاک
- انتخاب نوع دیوار
  - Wall, Grid, block
- معیارهای انتخاب عملکرد
  - بستگی به نوع خاک و سازه مورد کاربرد دارد

Design of DSM wall



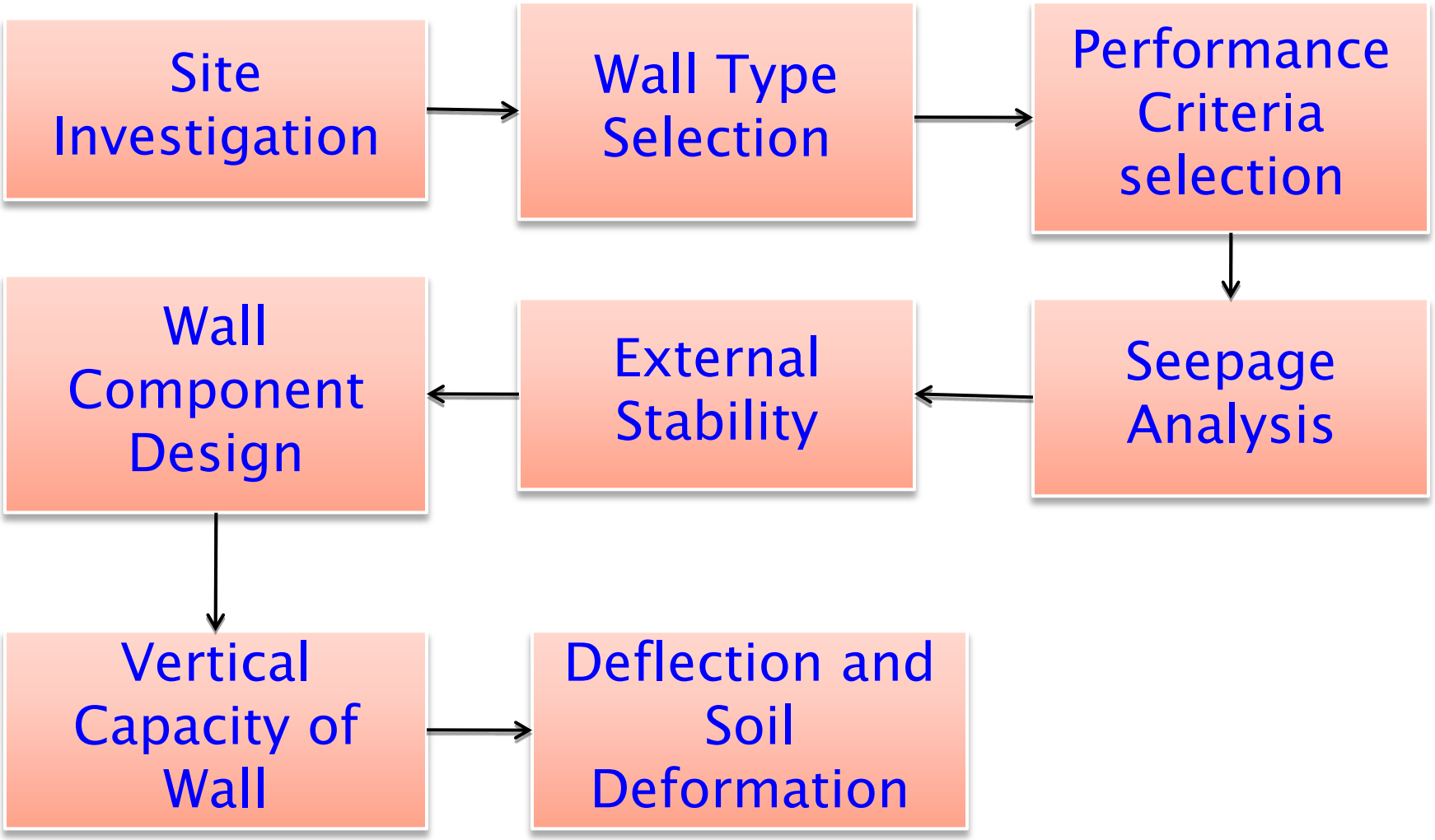
طراحی دیوارهای بر اساس موارد زیر صورت می گیرد :

- تحلیل نفوذپذیری
  - از روی چارت یا تحلیل های کامپیوتری (2D or 3D)
- تحلیل پایداری های خارجی
  - Method of Slice etc.
- تحلیل و طراحی DSM wall
  - با در نظر گرفتن سکشن های تکرارپذیر مناسب و شرایط مرزی

Ordinary Method of Slice
(Anderson and Richard, 1997)

- خمش و تغییر شکل
- ظرفیت باربری قائم
- جمع نیروهای وارده بر خاک

Design of DSM wall



مطالعه موردی ۱

پایدارسازی دیواره گود مجتمع تجاری-اداری زیتون

مطالعه موردی
پایدار سازی دیواره گود مجتمع تجاری - اداری زیتون ۲

مشخصات پروژه :

ساختمان ۱۷ طبقه , (۳ طبقه زیر زمین)

حداکثر عمق گود ۸ متر

حداقل عمق گود ۶.۵ متر

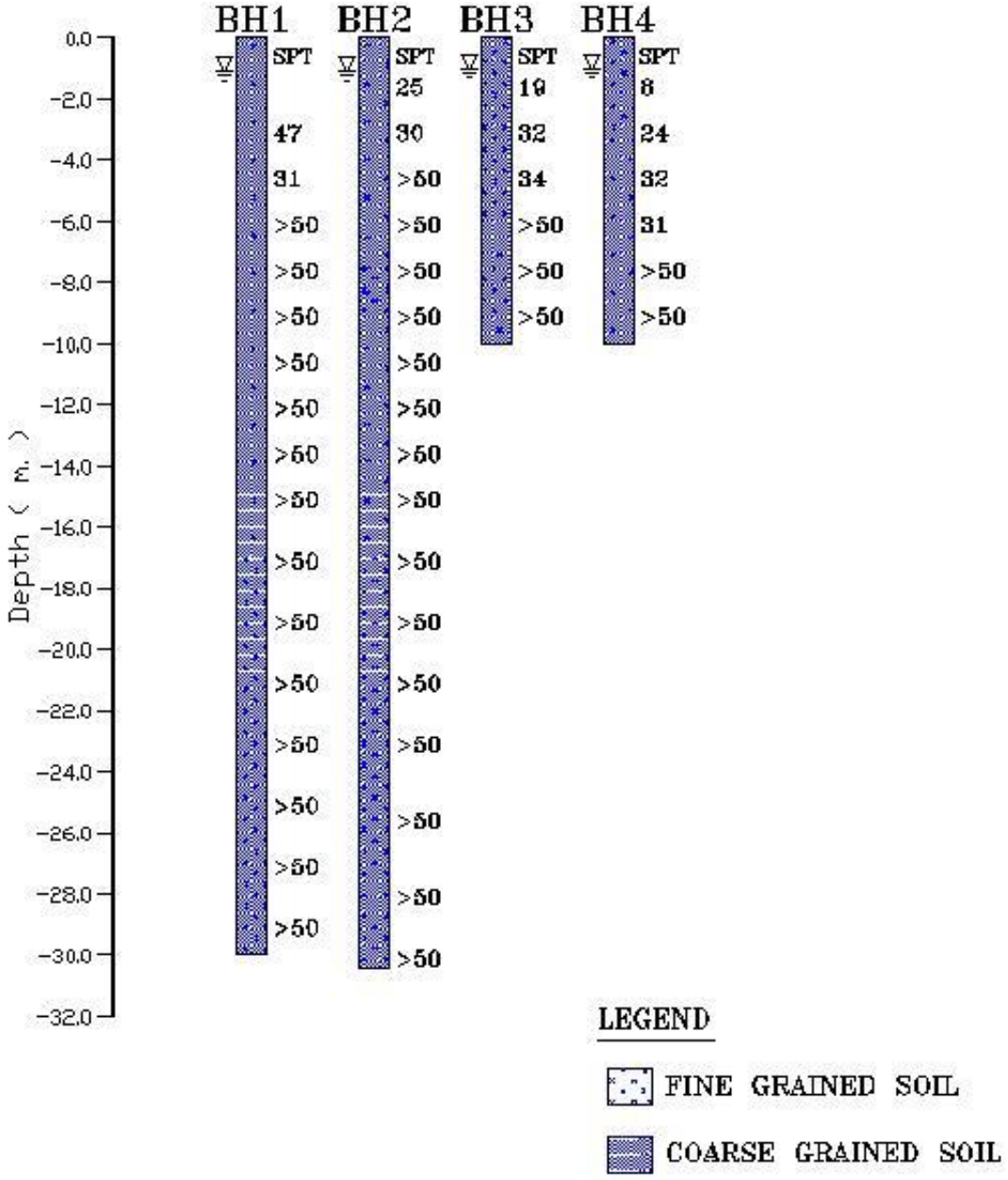
آب زیر زمینی در ۳ متری

جنس خاک ماسه سیلتی و ماسه

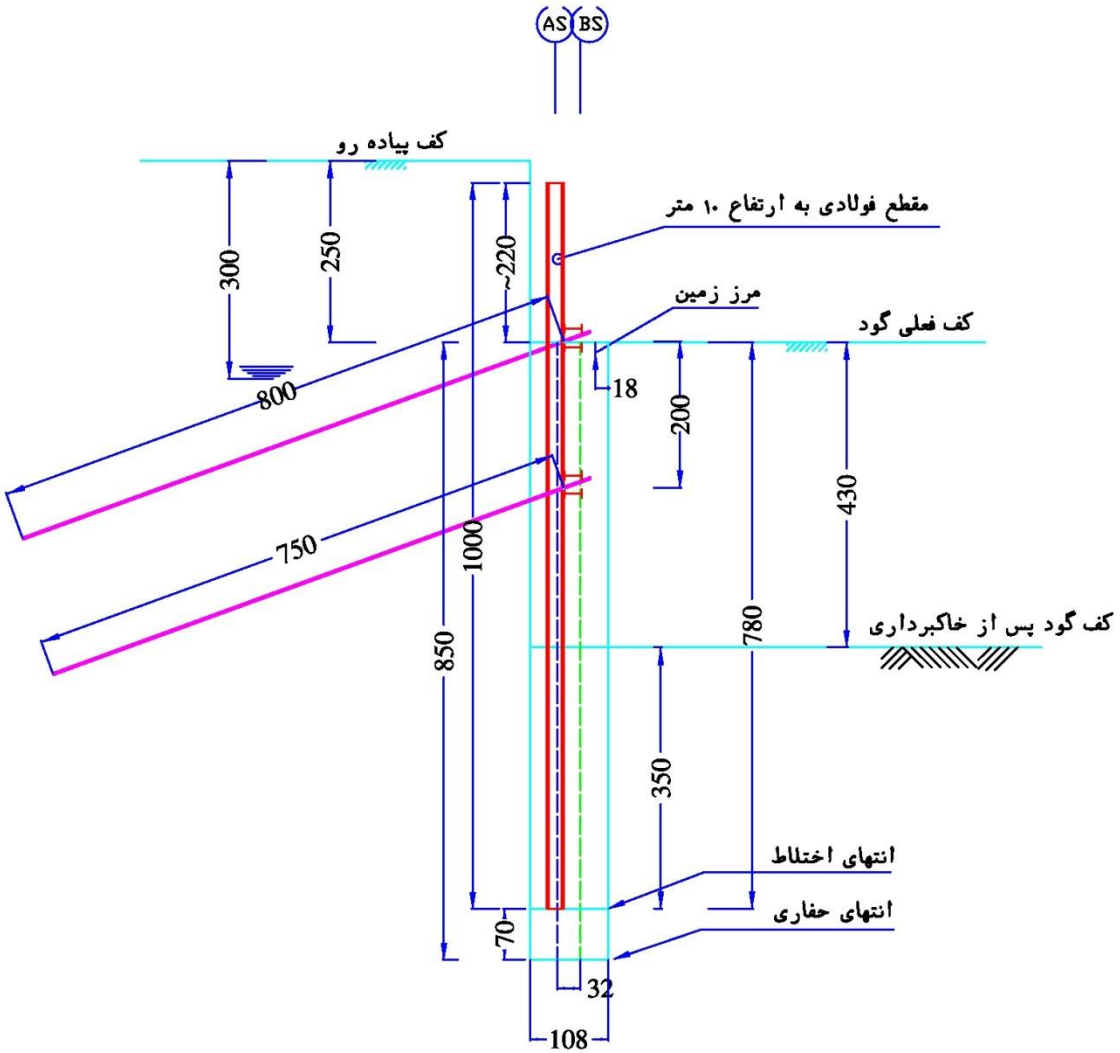
مساحت کل 3175m2

نقشه جا نمایی پروژه زیتون ۲

پیمایش گمانه های ژئو تکنیک



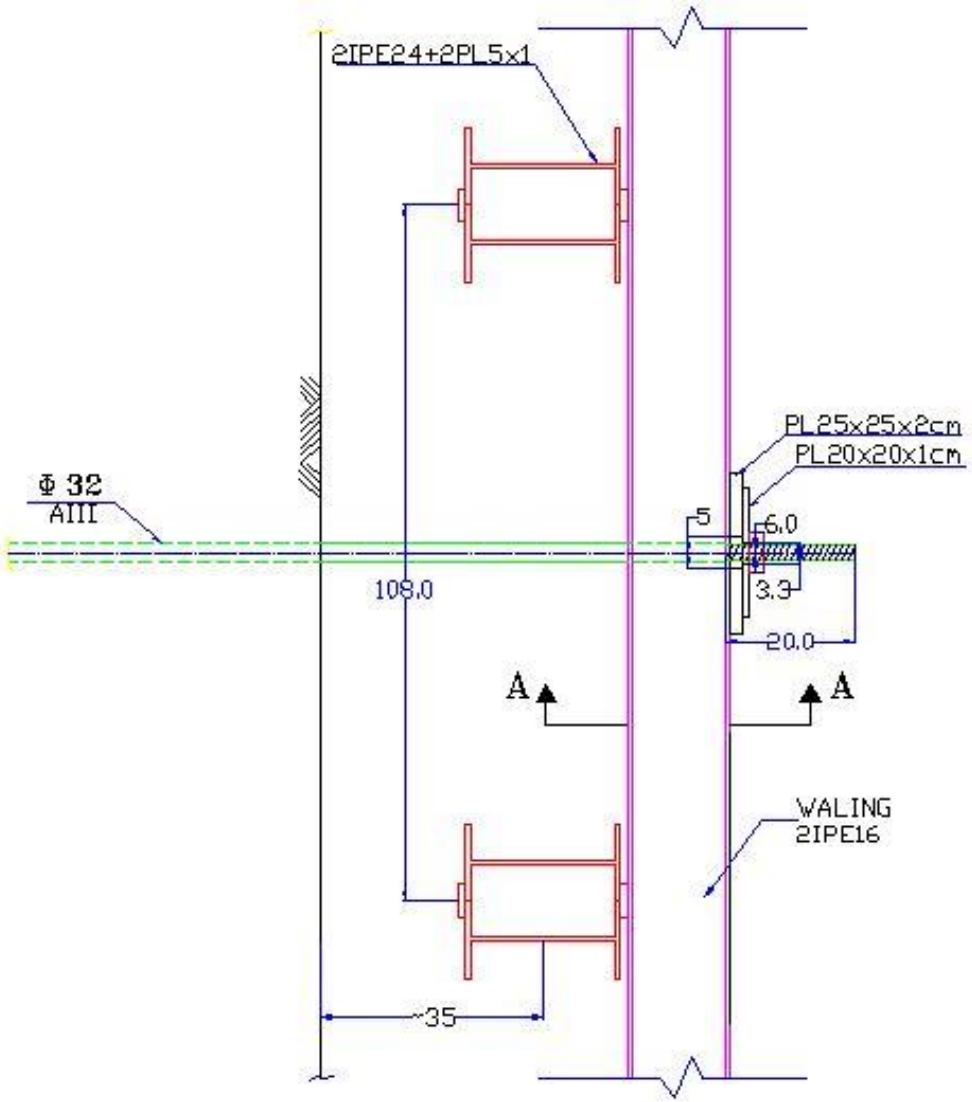
طرح دیواره



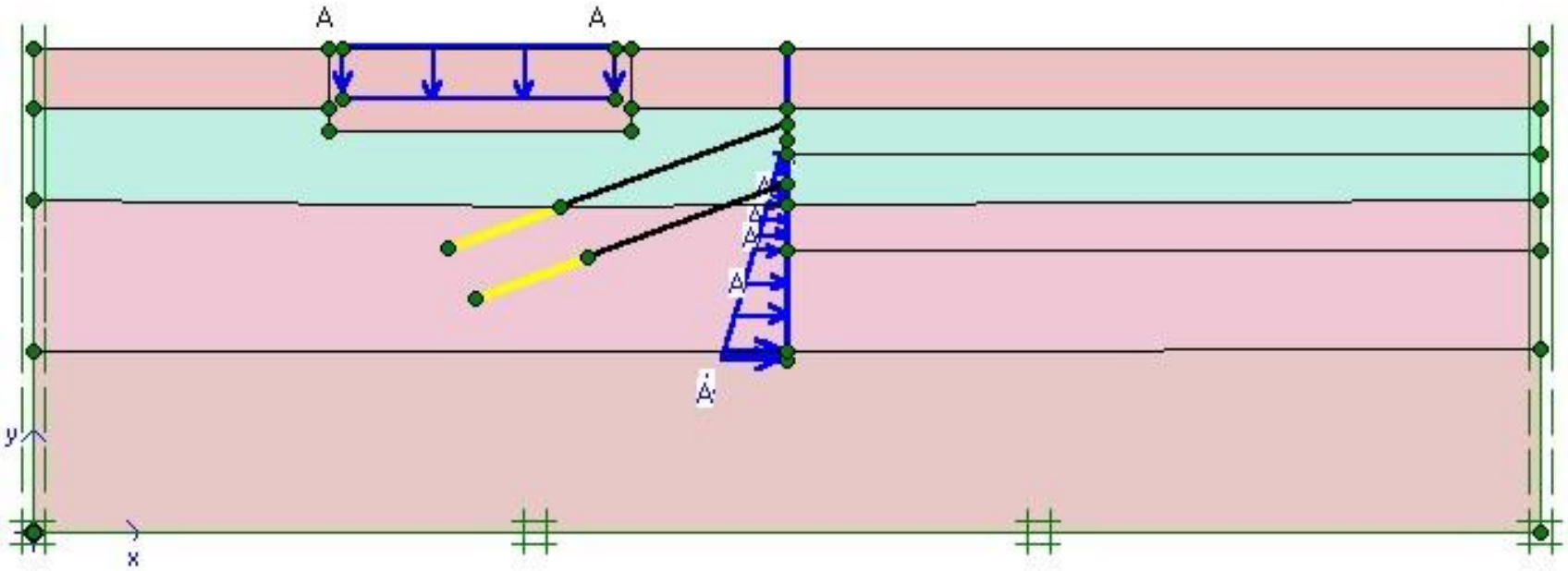
ANCHORING SECTION (D≅6.5M)

section NTS

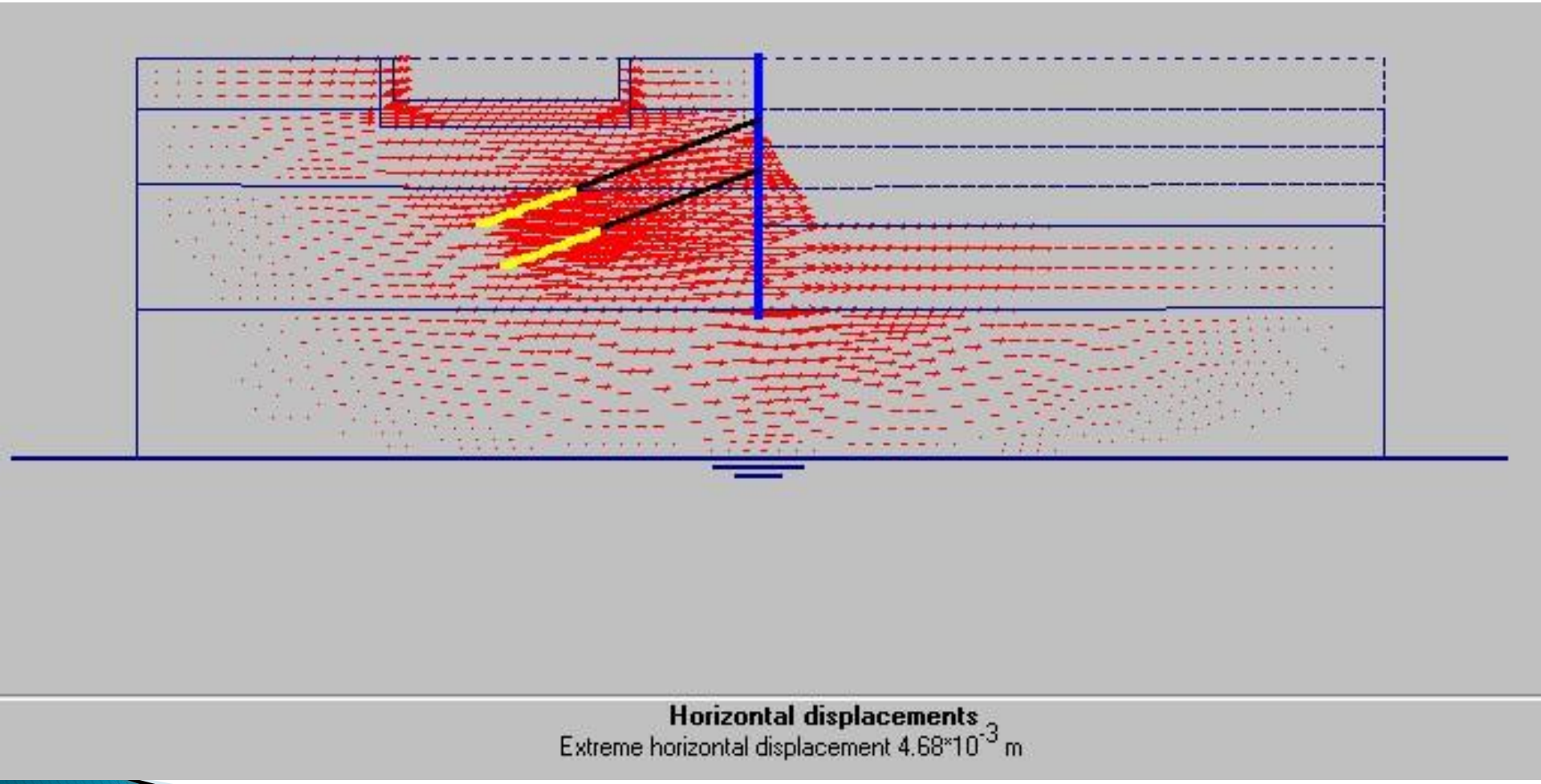
پلان دیواره و مهاری ها



مدل اجزا محدود دیواره جنوبی



تغییر شکل های افقی در دیواره جنوبی



نتایج آنالیز و طراحی سیستم حائل

دیواره	طول انکر بالایی (m)	طول انکر میانی (m)	طول انکر پایینی (m)	طول مهاری انکرها (m)	فواصل افقی انکرها از یکدیگر (m)	فاصله قائم انکرها از یکدیگر (m)	نیروی ایجاد شده در انکر بالایی (KN)	نیروی ایجاد شده در انکر میانی (KN)	نیروی ایجاد شده در انکر پایینی (KN)	ضریب اطمینان کلی
شمالی	12	11	10	4	1.09	2	100	114	114	2.32
شرقی	11	–	10	4	1.09	2	106	–	112	2.19
بقیه	8	–	7.5	4	1.09	2	95	–	124	1.8

مقادیر تغییر شکل های حداکثر

دیواره	تغییر شکل زیر با وارده در مجاورت گود (mm)	
	افقی	قائم
شمالی	2	4
شرقی	5	4
بقیه	3	4

پره های دستگاه اختلاط عمقی

اجرای ستون های آزمایشی

اجرای ستون های کناری

ستون کناری

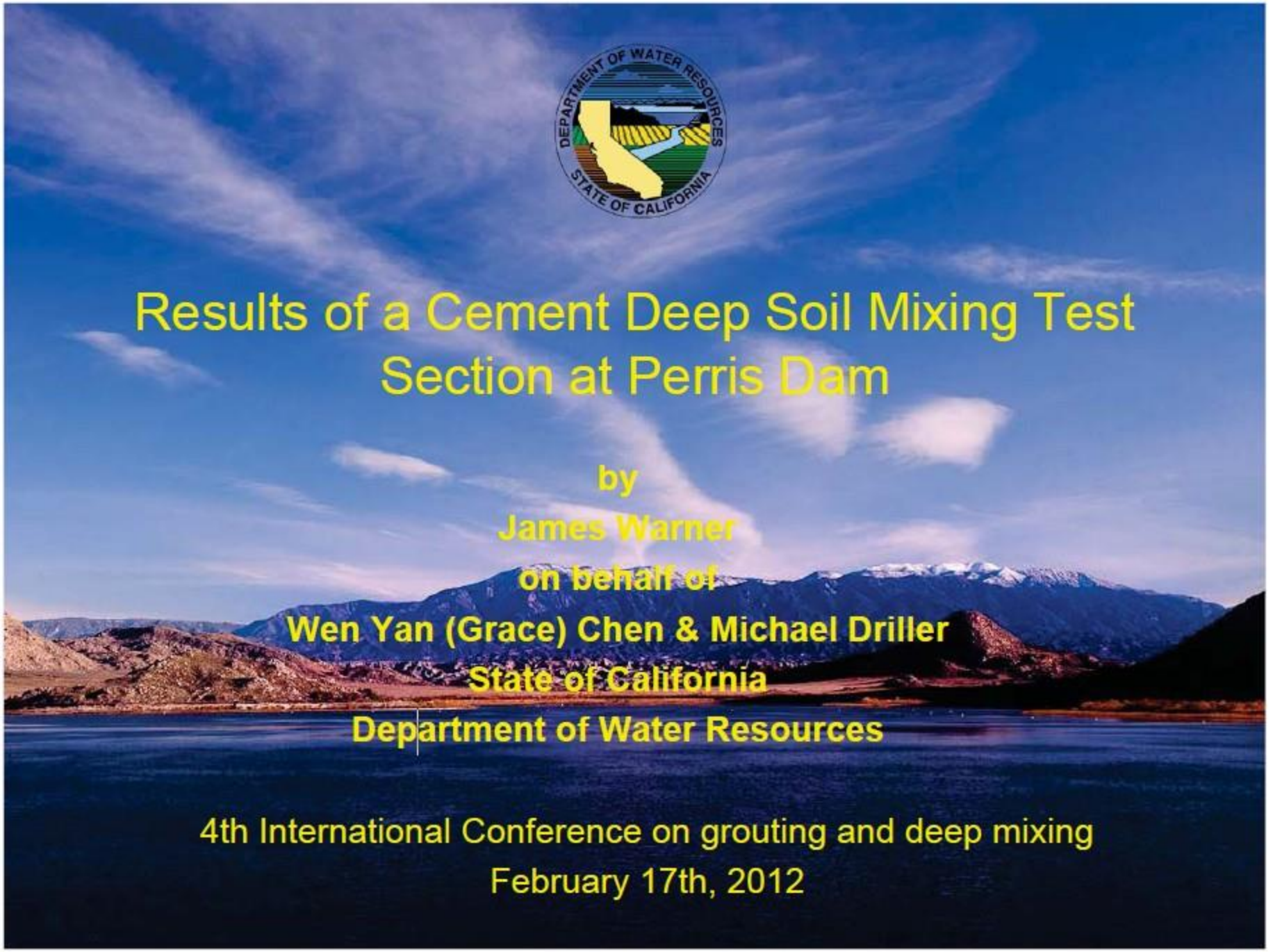
نصب مقاطع فولادی با چکش ویبره

دستگاه اختلاط عمقی و چکش ویبره برای نصب مقاطع فولادی برای آب بندی وپایدارسازی گود

مطالعه موردی ۲

اختلاط عمقی خاک با سیمان

سد پریس Perris Dam



Results of a Cement Deep Soil Mixing Test Section at Perris Dam

by

James Warner

on behalf of

Wen Yan (Grace) Chen & Michael Driller

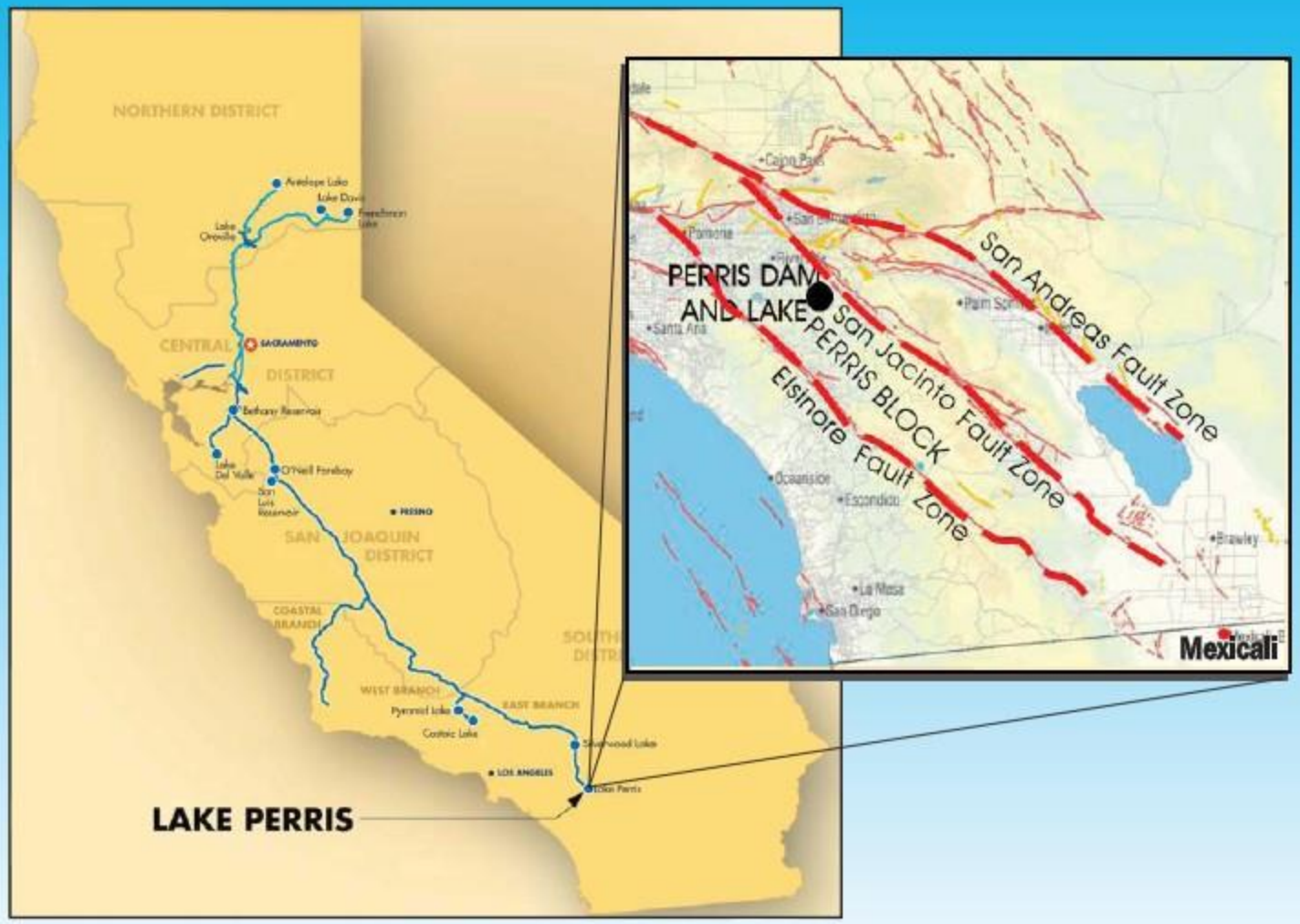
State of California

Department of Water Resources

4th International Conference on grouting and deep mixing

February 17th, 2012

Location of Perris Dam and Lake



Earth Embankment Design

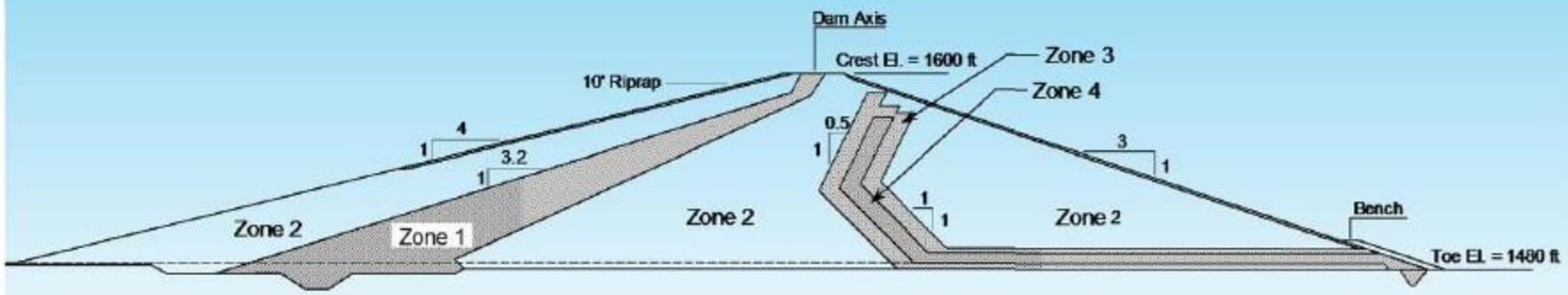
Dam Height – 126 feet

Dam Length – 2.2 Miles

Built 1970 – 1972

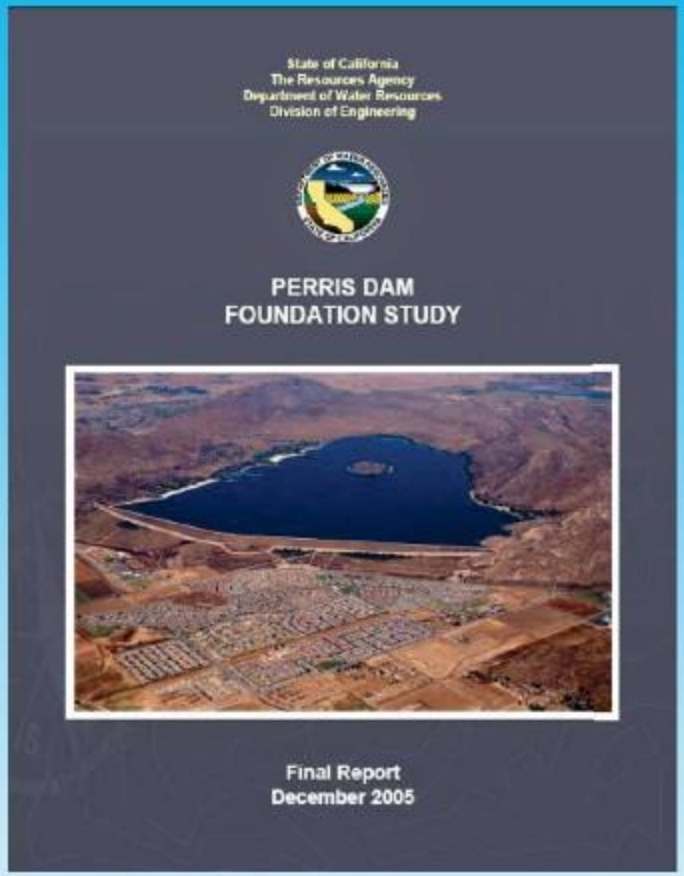
Embankment Section

- Inclined Sandy Clay Core (Zone 1)
- Silty Sand Shells (Zone 2)
- Internal Filter and Drain (Zones 3 & 4)



Perris Dam Foundation Study

- Study Findings:
  - Liquefiable foundation layers
  - Large seismic displacements
  - 7.6 m (25 ft) Pool restriction
- Immediate Goal:
  Return Dam to normal operation
- Design Requirements:
  - Reduce seismic displacements to less than 0.9 - 1.5 m (3 - 5 ft).
  - Reduce potential for transverse cracking.
  - Manage seepage gradients.
  - Maintain stability during construction.



Perris Dam and Lake

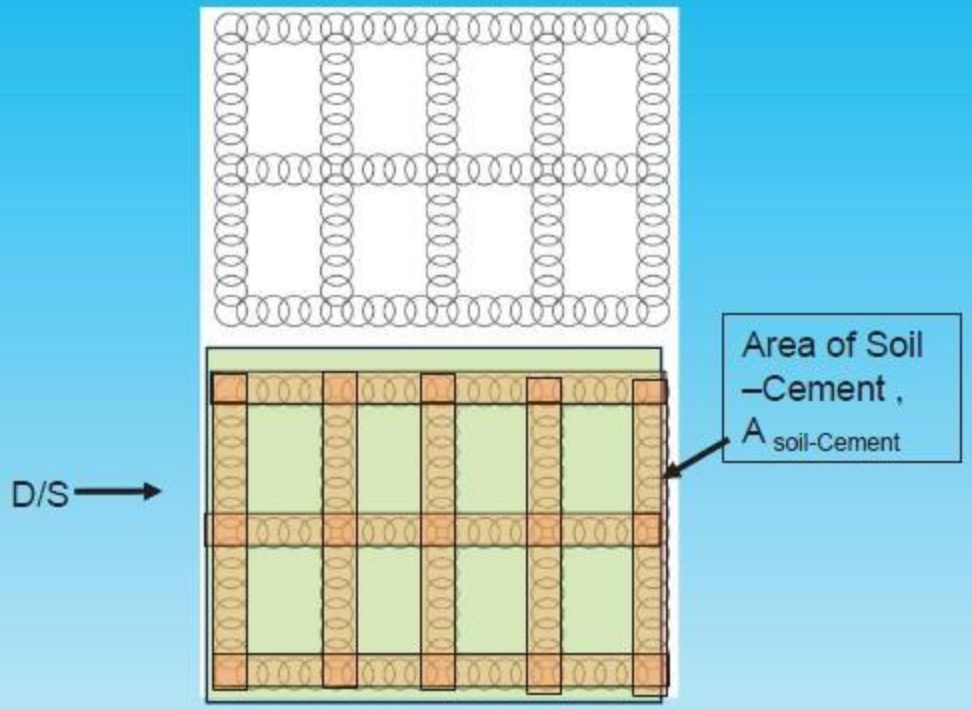
Dam Section before and after Repair

Original Dam Section

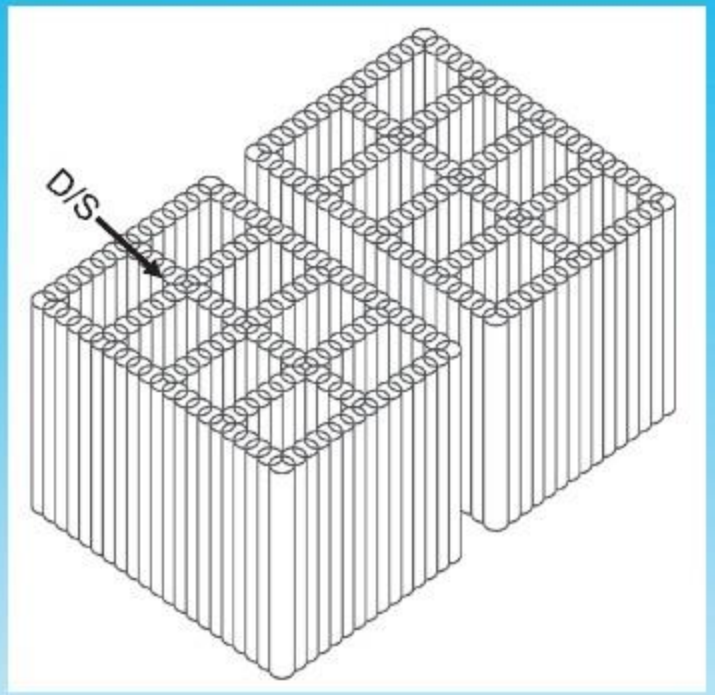
Post Construction Dam Section

Design CDSM Layout

Design CDSM Replacement Ratio = $A_{soil\text{-}Cement} / A_{Cell}$ = 42%



Plan View



Isometric View

Design Strength of CDSM 2.2 MPa (315 psi) Average

Objectives of CDSM Test Section

- Determine the strength of the CDSM with different cement dosages
- Determine if pre-drilling is required in advance of the CDSM equipment
- Determine the ability of the CDSM equipment to thoroughly mix the in-situ material to the required strength and depth of treatment.
- Determine the penetration rate and uniformity of the resulting soil-cement

CDSM Test Section

Mixing Equipment

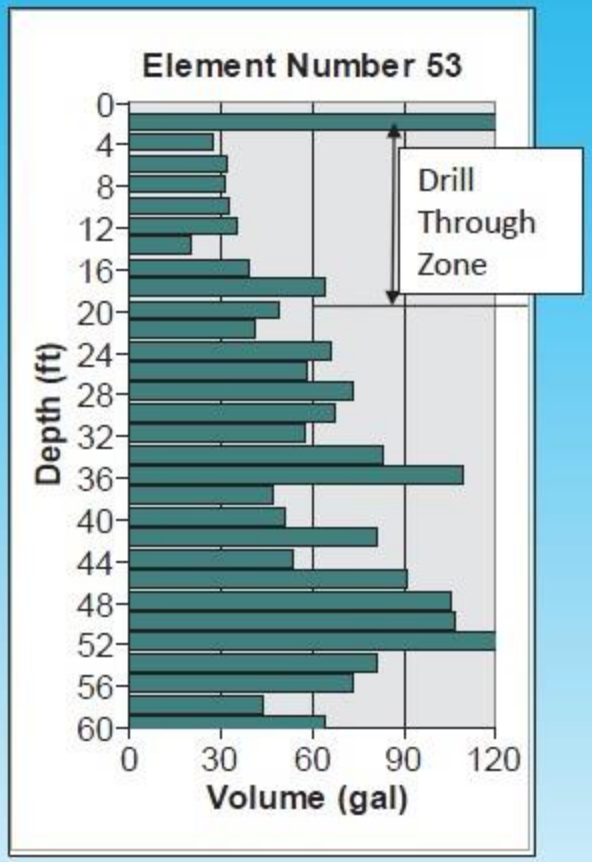
Twin Augers

CSM Cutter Wheels

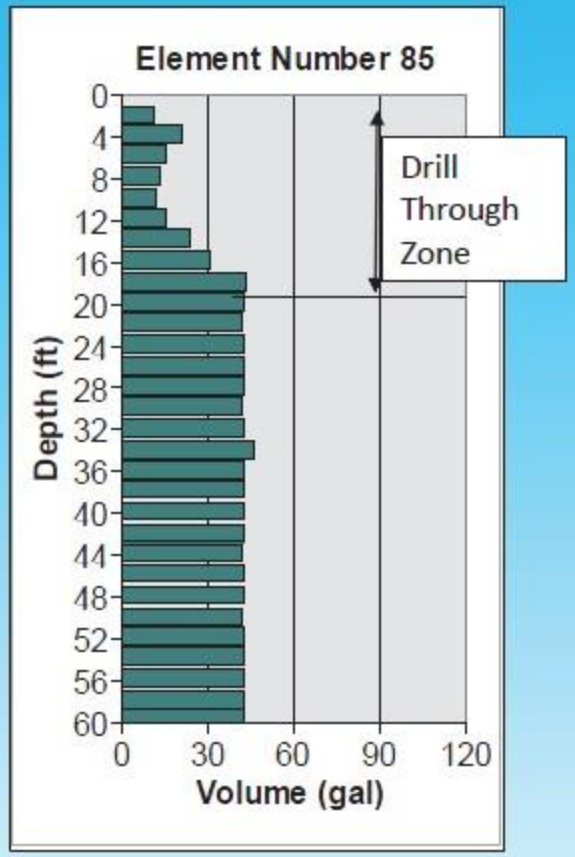
Grout Mix Design for Test Section

Design Mix	w/c Ratio	Cement Dosage (kg/m^3)
Mix 1	1.2	180
Mix 2	1.0	260
Mix 3	1.0	340
Mix 4	1.0	480
CSM	0.6	260

Effect of Pre-Drilling



Without Pre-Drilling



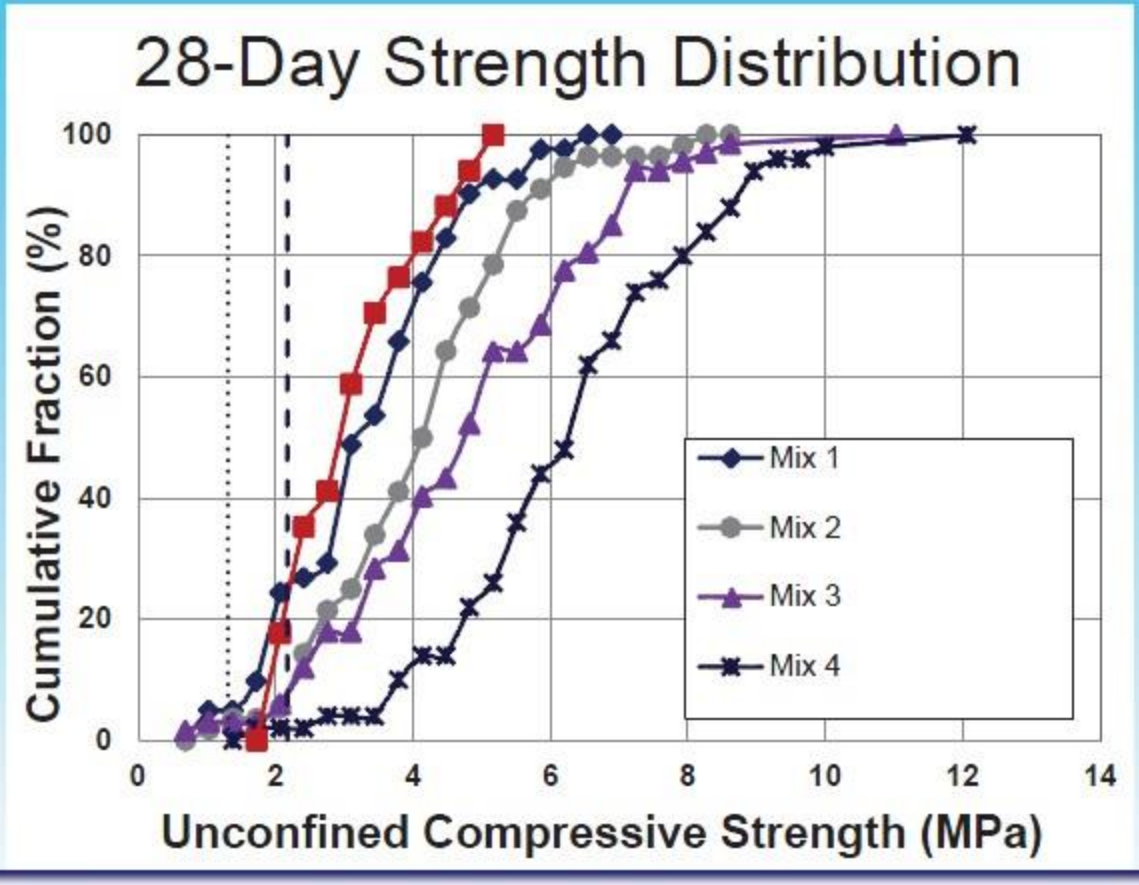
With Pre-Drilling

Soil Mixing Process

Strength Testing

70 Wet-grab Samples: 7, 14, 28, and 90 Days

650 Cored Samples: 28, 90, 180, and 365 Days



Summaries and Findings

- Foundation soils at some depths were too dense for the CDSM equipment to penetrate effectively.
- Pre-drilling was required to penetrate, and more importantly, achieve uniform soil-cement mixing.
- Early termination of column installation occurred at a number of locations even after pre-drilling.
- The 40 cm (16 in.) diameter pre-drilled holes were too small compared to the 91 cm (36 in.) diameter CDSM augers.
- During sampling, the core barrel exited a number of CDSM columns before reaching the bottom.
- Down-hole surveys showed most of the core holes were vertical, indicating CDSM columns often were not.

Summaries and Findings

- Better verticality could be achieved with stronger equipment and/or equipment with electronic control devices.
- There was relatively large scatter in the soilcrete strength for all mixes, but almost all were greater than required.
- Soil-cement samples using the cutter method were weaker than those using the multi-auger method for the same amount of cement.
- More water and spoils were generated using the CSM method than using the multi-auger method.
- The CSM Method did a better job of mixing the cement with the foundation soils than the multi-auger method.