

معرفی

روانگرایی چیست؟



Imperial Valley, California,
earthquake Oct. 15, 1979
Magnitude: 7.0

Soil Dynamics

تعریف روانگرایی

اگر یک ماسه اشباع تحت ارتعاش قرار گیرد، تمایل به تراکم و کاهش حجم پیدا می کند. در این حالت اگر امکان زهکشی برقرار نباشد نتیجه کارافزایش فشار حفره ای خواهد بود که ممکن است مساوی فشار سربار گردد.

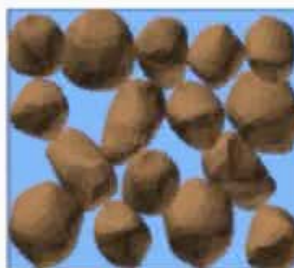
$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma = u \Rightarrow \sigma' = 0 \Rightarrow \tau = \sigma' \tan(\phi') = 0$$

تحت این شرایط ماسه هیچ گونه مقاومت برشی نخواهد داشت و به حالت مایع در می آید. روانگرایی اغلب در ماسه های ریز تا متوسط اشباع به وقوع می پیوندد.

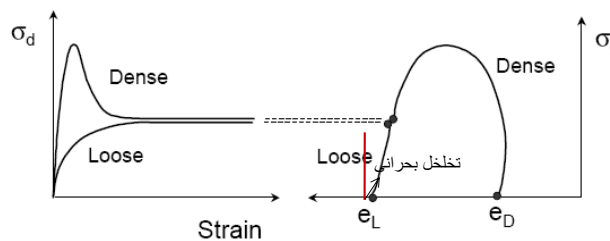
Soil Dynamics

تعریف روانگرایی



Soil Dynamics

رفتار خاک - روانگرایی

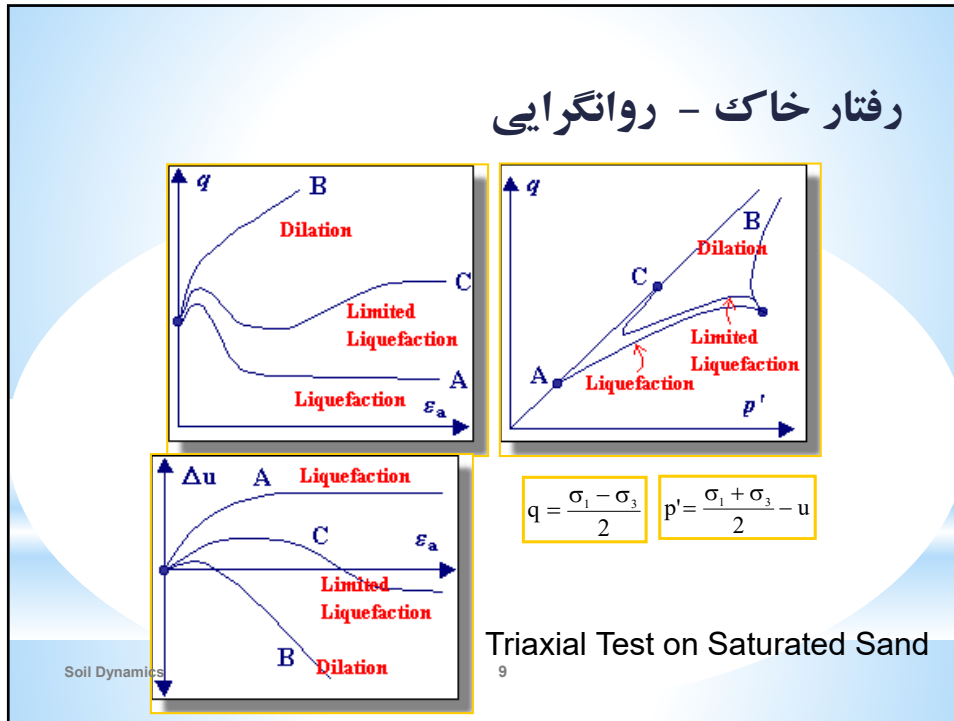


Triaxial Test on Sand

Soil Dynamics

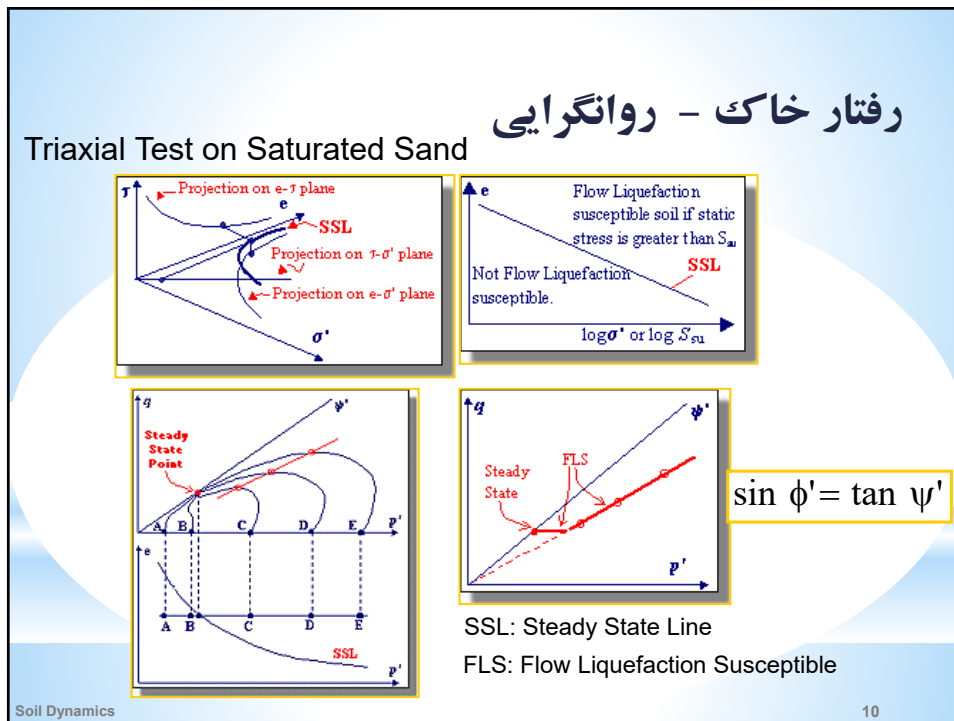
8

رفتار خاک - روانگرایی

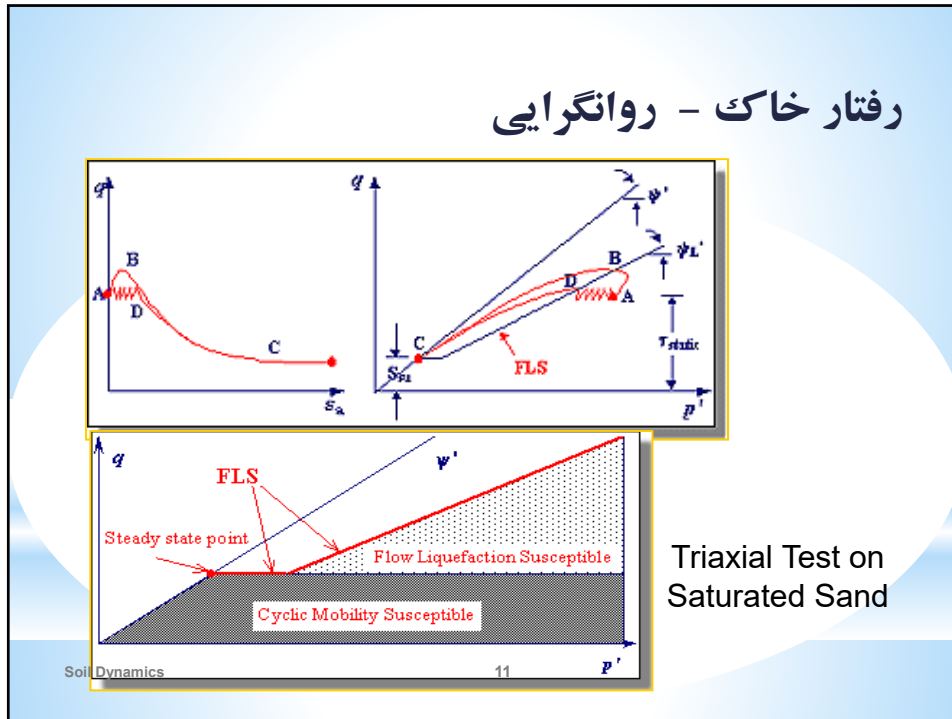


رفتار خاک - روانگرایی

Triaxial Test on Saturated Sand



رفتار خاک - روانگرایی



Triaxial Test on Saturated Sand

تعریف روانگرایی

۱- روانگرایی جریانی:
Flow liquefaction
 تنش برشی استاتیکی موجود در توده (لازم برای تعادل توده) بیشتر از مقاومت برشی خاک روان شده باشد.

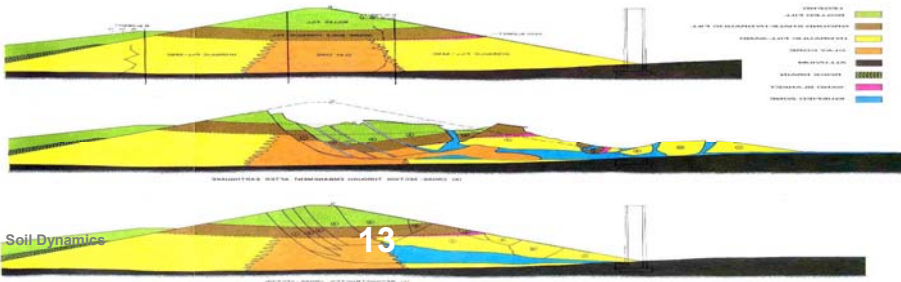

۲- تحرک سیکلی:
Cyclic mobility
 تنش برشی استاتیکی موجود در توده کمتر از مقاومت برشی خاک روان شده باشد.

بررسی اولیه منطقه برای امکان وقوع روانگرایی

- ۱- بررسی تاریخی و زمین شناسی
- ۲- ساختار خاک و شرایط اولیه خاک- نخلخل و تنش پیش تحکیمی و ..

انواع روانگرایی


Flow liquefaction
San francisco
San fernando dam



Soil Dynamics 13

انواع روانگرایی

Cyclic mobility
Lateral spreading



Lateral Spreading
at Tea Garden in
Seymen, Turkey
1999

Soil Dynamics 14

نتایج روانگرایی

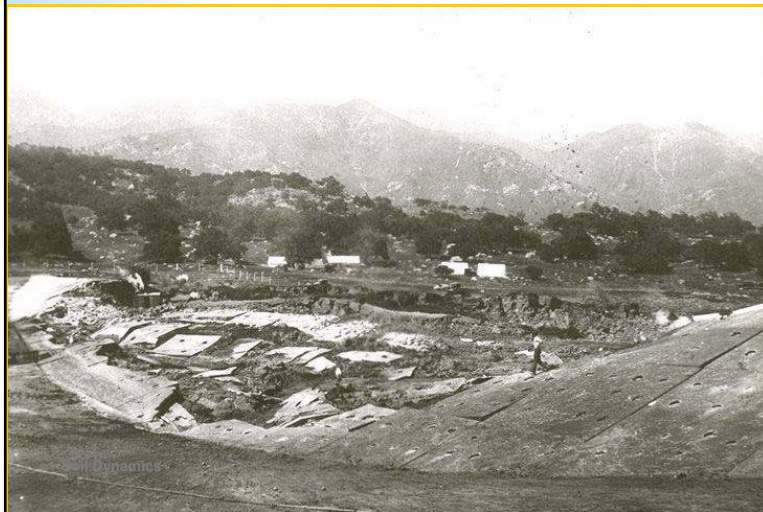
مشاهدات ناشی از روانگرایی

- زمین لغزش
- گسیختگی پی‌ها
- جریان یافتن خاک و جوشش ماسه

Soil Dynamics

نتایج روانگرایی

لغزش زمین



Soil Dynamics

نتایج روانگرایی

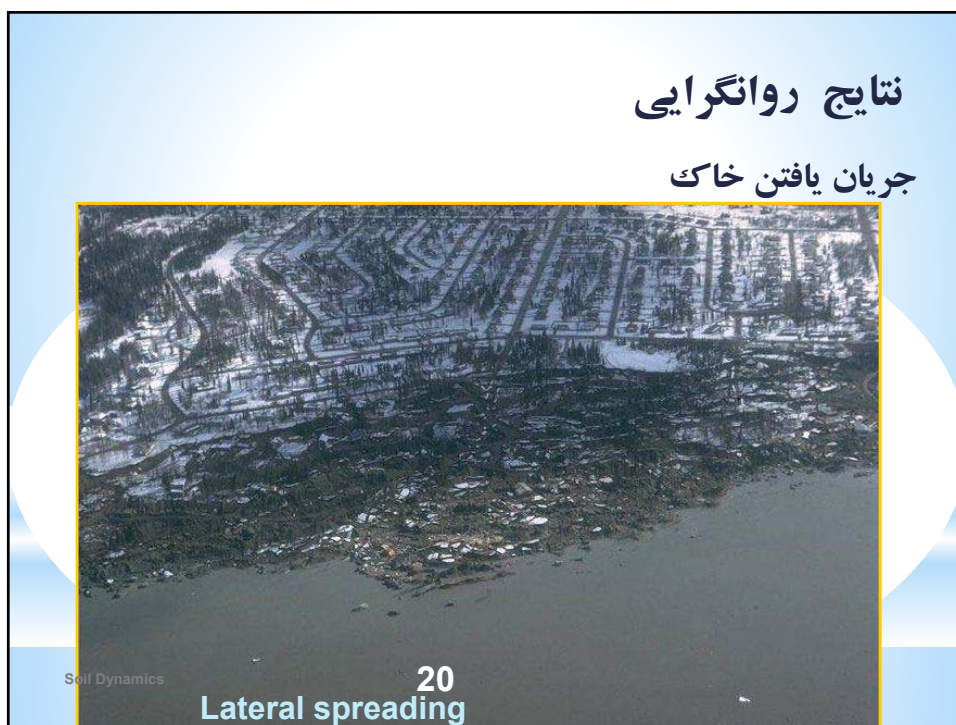
لغزش شیروانی و خاک ریز

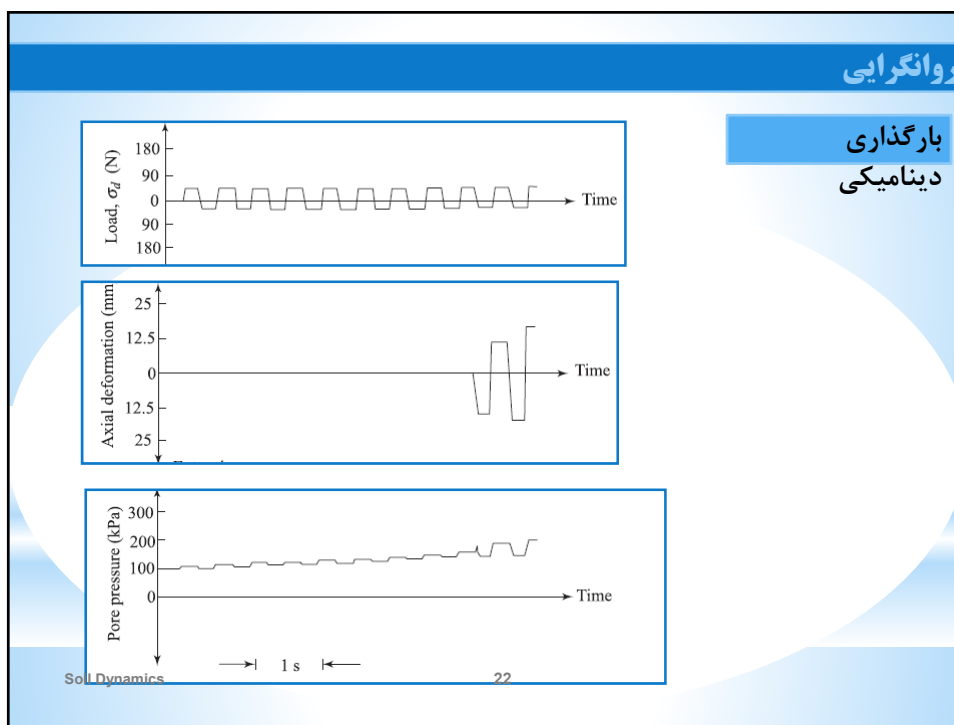


نتایج روانگرایی

گسیختگی پی

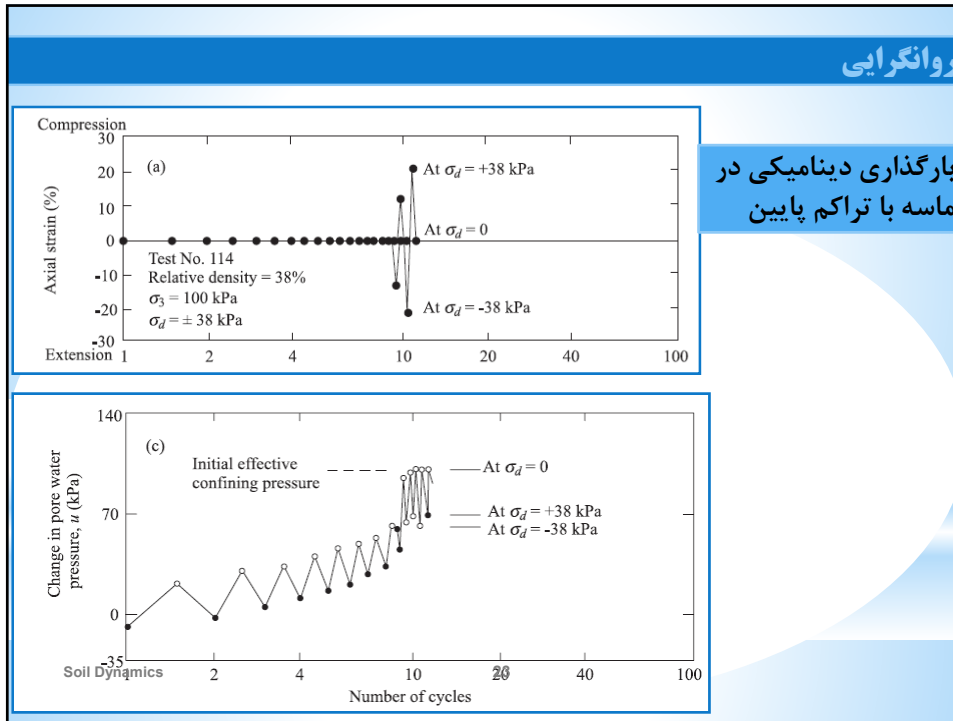






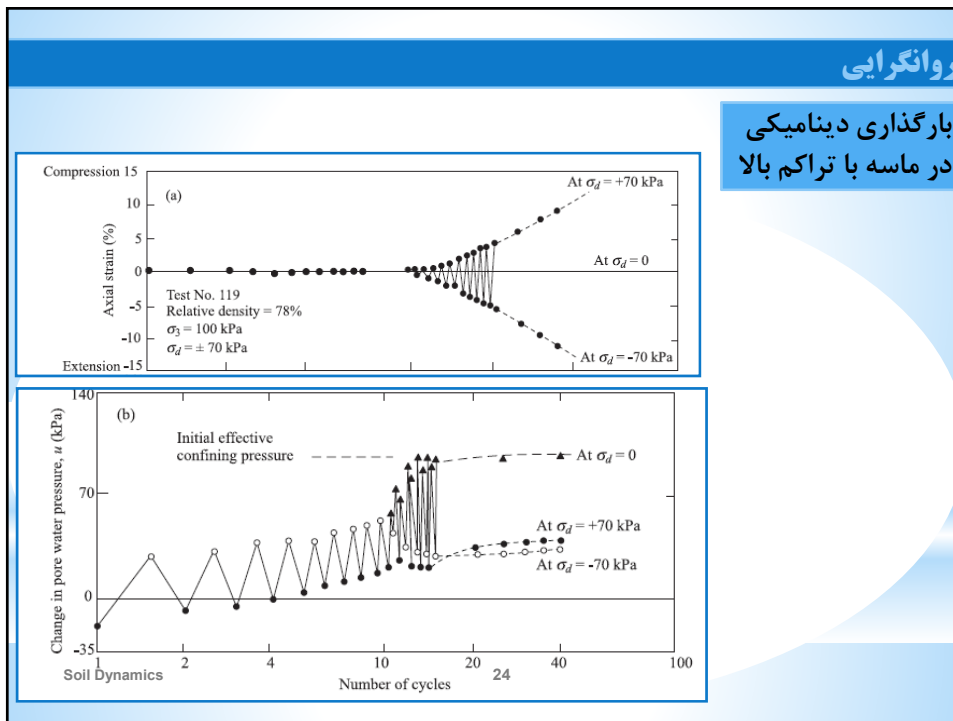
روانگرایی

بارگذاری دینامیکی در ماسه با تراکم پایین



روانگرایی

بارگذاری دینامیکی در ماسه با تراکم بالا



پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

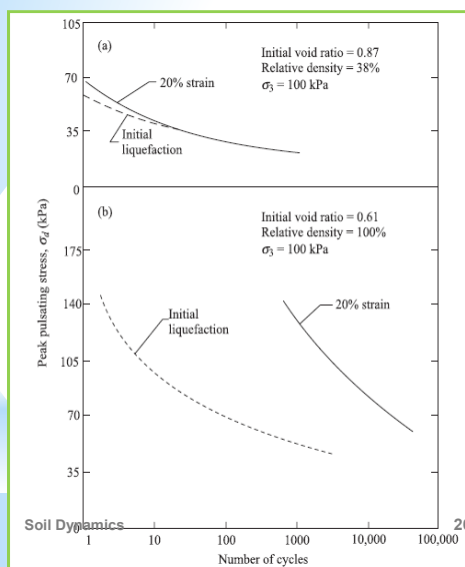
- ۱- تراکم نسبی D_r
- ۲- مشخصات دانه های خاک- اندازه و شکل ذرات
- ۳- فشار محدود کننده σ_3
- ۴- موقعیت زهکشها و ابعاد توده خاک
- ۵- ماهیت ارتعاشات - حداکثر تنش انحرافی تناوبی σ_d
 - تعداد نوسان اعمال بار تناوبی
 - شتاب قائم و افقی
- ۶- نسبت پیش تحکیمی
- ۷- جابجایی هوا

Soil Dynamics

25

پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

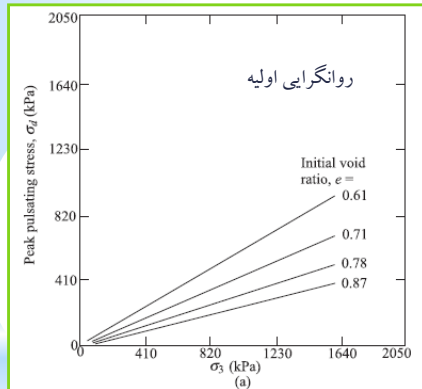
تراکم نسبی



26

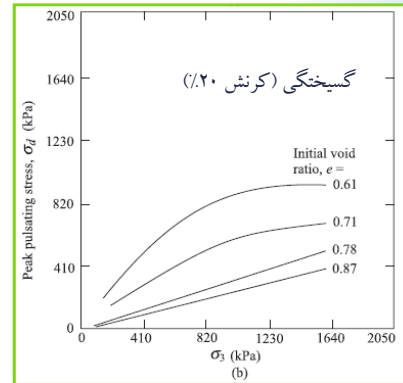
پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

تراکم نسبی



(a) Initial liquefaction in 100 cycles

Soil Dynamics



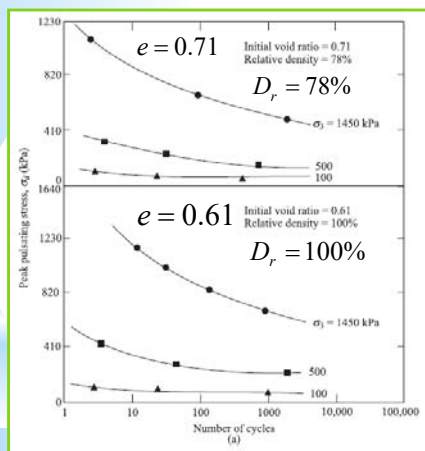
(b) 20% strain in 100 cycles

27

پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

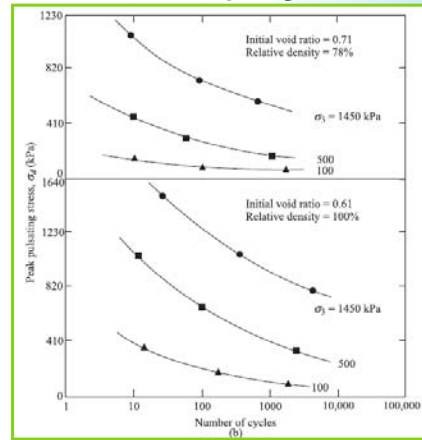
فشار محصور کننده - تعداد نوسان

روانگرایی اولیه



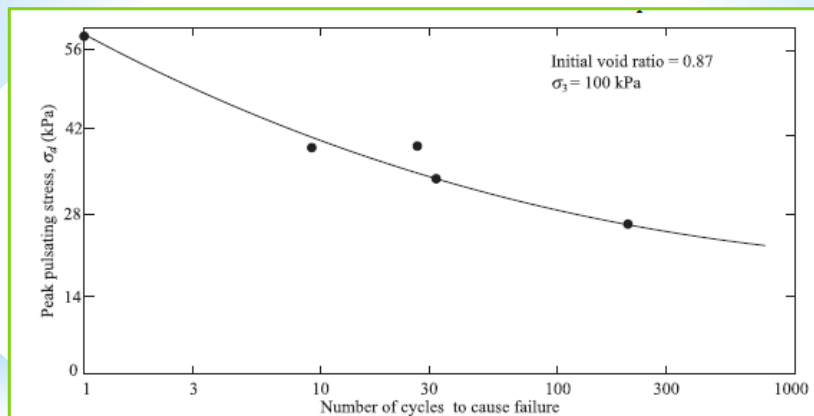
Soil Dynamics

گسیختگی (کرنش ۲۰٪)



پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

مقدار تنش انحرافی

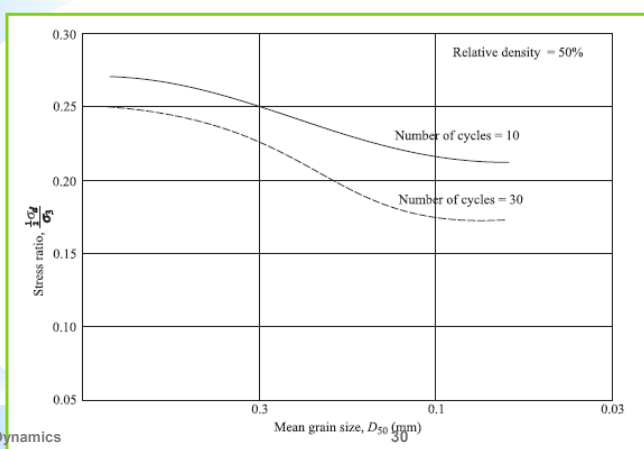


Soil Dynamics

29

پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

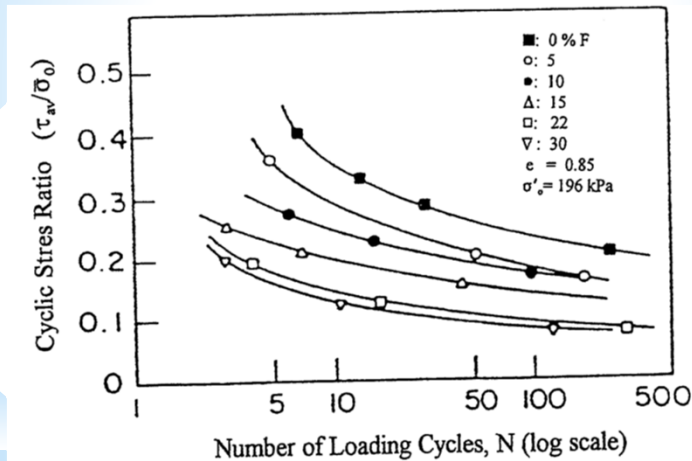
- تعداد سیکل های بار تنش انحرافی



Soil Dynamics

پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

درصد ریزدانه و مشخصات آن

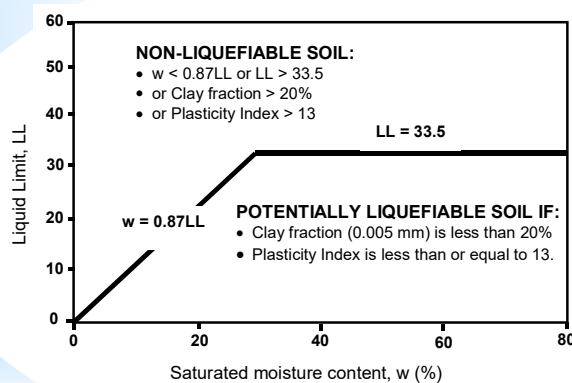


Soil Dynamics

Variation of Cyclic Strength with Fine Content at Constant Void Ratio (after Troncoso, 1990)

پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی

درصد ریزدانه و مشخصات آن

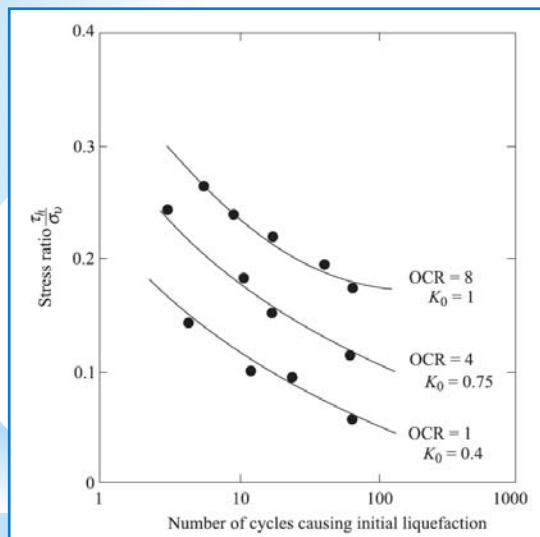


Soil Dynamics

Chinese Criteria Adapted to ASTM Definitions of Soil Properties (Perlea, Koester and Prakash, 1999)

معمولا بیشتر خاکهای رسی در اثر زلزله دچار روانگرایی نمی شوند. با این حال، مطالعات اخیر نشان داده اند که در انواع معینی از مصالح رسی ممکن است در اثر تکانهای زلزله، افت مقاومت زیادی ایجاد شود.

پارامترهای موثر در پتانسیل روانگرایی



تنش پیش تحکیمی

Soil Dynamics

امکان وقوع روانگرایی

ارزیابی امکان وقوع روانگرایی

روش‌های تجربی بر مبنای SPT, CPT
روش‌های ساده سازی شده مبتنی بر تنش و کرنش
مدل تاریخچه زمانی تنش موثر
روش‌های احتمالاتی

Soil Dynamics

ارزیابی امکان وقوع روانگرایی

مقایسه بار زلزله و مقاومت خاک

Stress Based

- Seed & Idriss
- - One Dimensional Response Analysis
- - Laboratory Stress Cyclic Testing

Strain Based

- Dobry et al.
- - One Dimensional Response Analysis
- - Laboratory Strain Cyclic Testing

Soil Dynamics

35

Seed & Idriss Simplified Method

FS=Resistance/Load

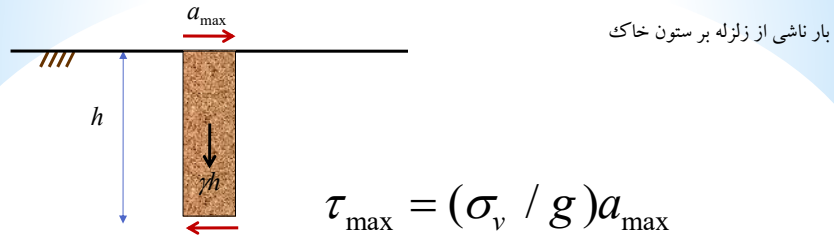
Resistance = τ_{res} = fn(SPT Blow Count,
Earthquake Mag,
Percent Fines)

Load = τ_{cyc} = fn(Earthquake Acceleration,
Vertical Stress)

Soil Dynamics

36

تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادريس

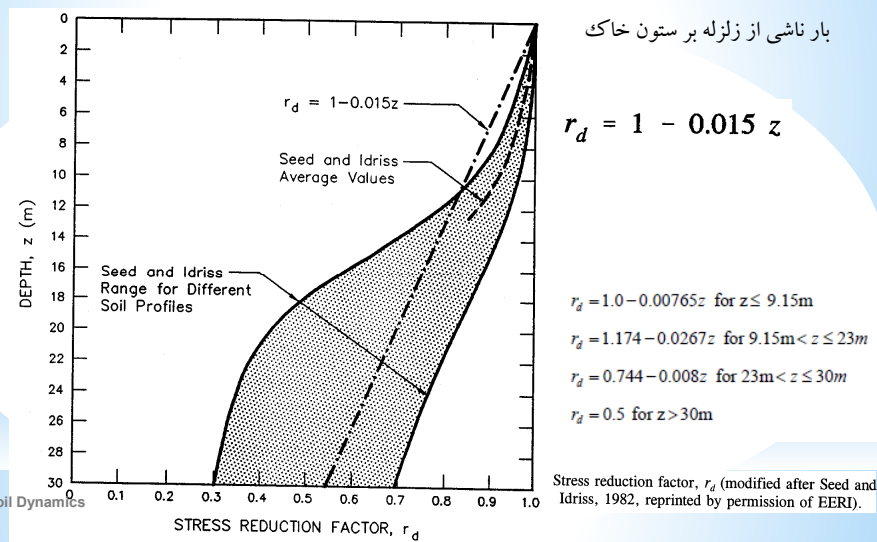


ستون خاک صلب نیست و یک محیط شکل پذیر است، لذا رابطه باید اصلاح شود:

$$\tau_{\max(\text{mod})} = r_d \tau_{\max} = r_d [\sigma_v (a_{\max} / g)]$$

Soil Dynamics

تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادريس



تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادریس

جدول ۱۵ - ۲ تعداد نوسان تنشهای مهم N مربوط به τ_{av}

بزرگی زلزله	N
7	10
7.5	20
8	30

بار ناشی از زلزله بر ستون خاک حداکثر تنش برشی به دست آمده از تاریخچه زمانی تنش برشی در حین زلزله می تواند به تعداد نوسان تنشهای مهم تبدیل شود.

سید، و ادریس تنشهای یکنواخت نوسانهای مهم را طبق رابطه زیر پیشنهاد می نمایند:

$$\tau_{av} = 0.65 \tau_{\max(\text{mod})} = 0.65 r_d [\sigma_v (a_{\max} / g)]$$

یا نسبت تنش سیکلی زلزله برابر است با $CSR_{EQ} = \tau_{av} / \sigma'_v = 0.65 (a_{\max} / g) r_d (\sigma_v / \sigma'_v)$

Soil Dynamics

تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادریس

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_0} \right)_{\text{site}, D_r} = C_r \left(\frac{\sigma_{dev}}{2\sigma'_3} \right)_{\text{triaxial}, D_r=50} \left(\frac{D_r}{50} \right)$$

مقاومت خاک: نسبت تنش سیکلی که باعث روانگرایی می شود با استفاده از نتایج آزمایشگاه بدست می آید.

CSR = cyclic stress ratio causing 5% strain in 20 cycles

Simple shear test $CSR_{ss} = \tau_{cyc} / \sigma'_{v0}$

Triaxial test $CSR_{tt} = \sigma_{dev} / 2\sigma'_3$

$CSR_{ss} = C_r CSR_{tt}$

Finn 1971 $C_r = (1 + K_0) / 2$

Castro 1975 $C_r = 2(1 + 2K_0) / 3\sqrt{3}$

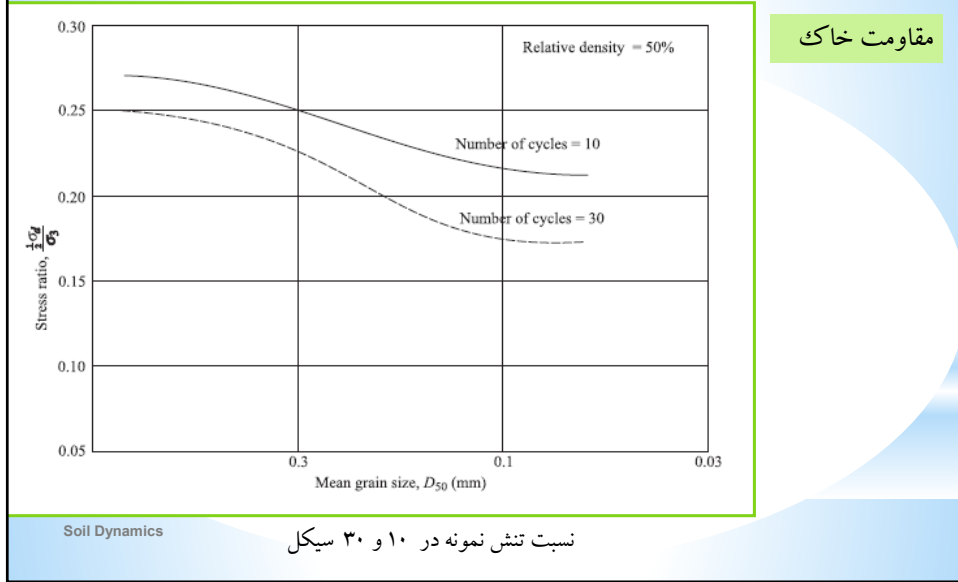
D_r site	C_r
20	0.54
30	0.54
40	0.54
50	0.565
60	0.61
70	0.66
80	0.705

$CSR_{\text{site}} = 0.9 CSR_{ss} = 0.9 C_r CSR_{tt}$

نسبت تنش سیکلی مقاوم در سایت به دلیل لرزههای چند جهته کاهش می یابد

Soil Dynamics

تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادریس



تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادریس

روانگرایی نداریم \Rightarrow مقاومت خاک < بار ناشی از زلزله بر ستون خاک
 $CSR_{EQ} < CSR_{ss, site}$

$$\frac{CSR_{ss, site}}{CSR_{EQ}} = \frac{\text{مقاومت خاک}}{\text{بار ناشی از زلزله بر ستون خاک}} = \text{ضریب اطمینان}$$

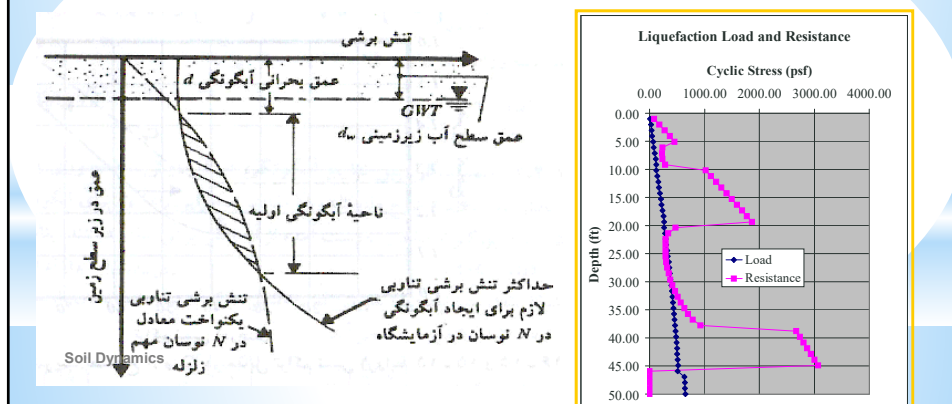
تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادریس

- برای تعیین ناحیه ای در صحرا که آبگونگی خاک به علت زلزله از آنجا شروع می شود:
- ۱ - ابتدا زلزله طرح را انتخاب نمایید.
 - ۲ - تا عمق بیست متری برای لایه ماسه ای تنشهای برشی متوسط در اثر زلزله را یک متر به یک متر به دست آورید. و به صورت تابعی از عمق رسم نمایید
 - ۳ - با استفاده از نتایج آزمون آزمایشگاهی، مقدار تنشهای تناوبی لازم را که باعث روانگرایی اولیه در صحرا می شود به دست آورید.
 - ۴ - با مقایسه تنشهای مرحله دوم و سوم امکان روانگرایی را ارزیابی کنید.

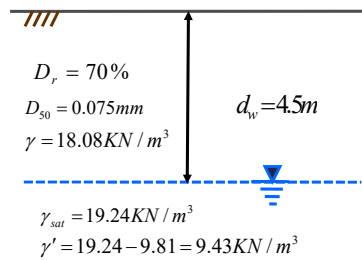
Soil Dynamics

تعیین پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادریس

- ۵ - ناحیه ای که در آن تنش برشی مقاوم برای جلوگیری از روانگرایی مساوی و یا کوچکتر از تنشهای برشی تناوبی معادل به وجود آمده ناشی از بار زلزله می باشد، مستعد روانگرایی است (ناحیه هاشور زده شده)



مثال پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادیس



مثال: پتانسیل روانگرایی خاک مقابل در عمق ۹ متری تحت زلزله ۷ ریشتر را تعیین نمایید

$$\Rightarrow \begin{aligned} N &= 10 \\ r_d &= 0.925 \\ C_r &= 0.66 \end{aligned}$$

Soil Dynamics

مثال پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادیس

$$\sigma = \gamma h_1 + \gamma h_2 = 4.5 * 18.08 + 4.5 * 19.24 = 167.94$$

تنش زلزله $\tau_{av} = 0.65 * 0.925 * 167.94 [a_{max} / g] = 100.97 [a_{max} / g]$

$$\sigma'_0 = \gamma h_1 + \gamma' h_2 = 4.5 * 18.08 + 4.5 * 9.43 = 123.8$$

$$D_{50} = 0.075mm \Rightarrow \left(\frac{\sigma_{dev}}{2\sigma'_3} \right)_{triaxial, D_r=50} = 0.215$$

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_0} \right)_{site, D_r} = C_r \left(\frac{\sigma_{dev}}{2\sigma'_3} \right)_{triaxial, D_r=50} \left(\frac{D_r}{50} \right)$$

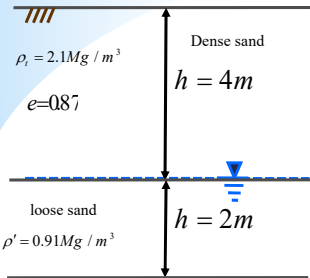
مقاومت خاک $\tau_{site, D_r} = 123.8 * 0.66 (0.215) \left(\frac{70}{50} \right) = 24.5 \text{ kN} / m^2$

بطور نمونه $a_{max} = 0.3g \Rightarrow \tau_{av} = 30.3 > 24.5 \Rightarrow$

روانگرایی داریم

Soil Dynamics

مثال پتانسیل روانگرایی - روش سید و ادیس



مثال: تنش برشی ماکزیمم برای ایجاد روانگرایی در لایه سست خاک مقابل زلزله ۷/۵ ریشتر را تعیین نمایید (در وسط لایه) فرض نمایید تنش انحرافی سیکنلی که موجب روانگرایی می شود برابر 39kPa در فشار مجصورکننده 100 kPa باشد

$$\sigma'_{v0} = \gamma h_1 + \gamma' h_2 = 4 * 2.1 + 1 * 0.91 = 93.1 \text{ kPa}$$

$$CSR_{tt} = \sigma_{dev} / 2\sigma'_3 = \frac{39}{2 * 100} = 0.195$$

$$K_0 = 1 - \sin 33 = 0.46$$

$$C_r = (1 + K_0) / 2 = \frac{1 + 0.46}{2} = 0.73$$

$$CSR_{site} = 0.9 CSR_{ss} = 0.9 * 0.73 * 0.195 = 0.128$$

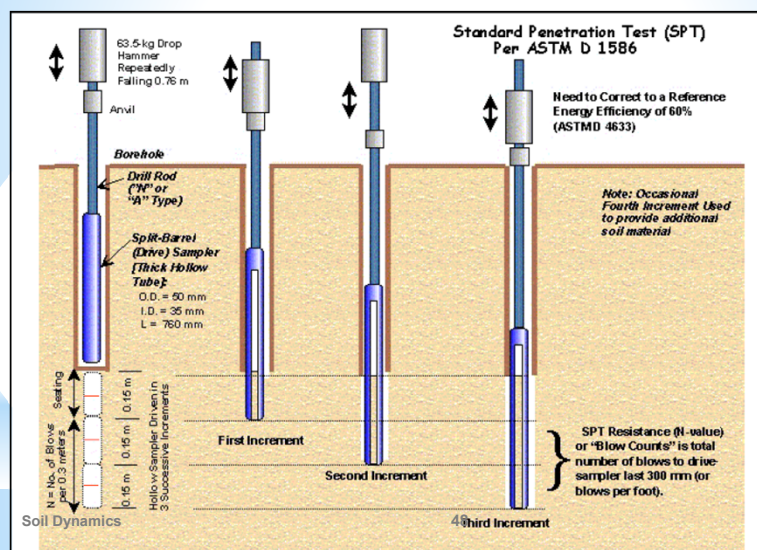
$$CSR_{site} = \tau_{cyc} / \sigma_{v0} \Rightarrow \tau_{cyc} = CSR_{site} \sigma_{v0} = 0.128 * 93.1 = 11.92 \text{ kPa}$$

Soil Dynamics

$$\Rightarrow \tau_{max} = \tau_{cyc} / 0.65 = 11.92 / 0.65 = 18.34 \text{ kPa}$$

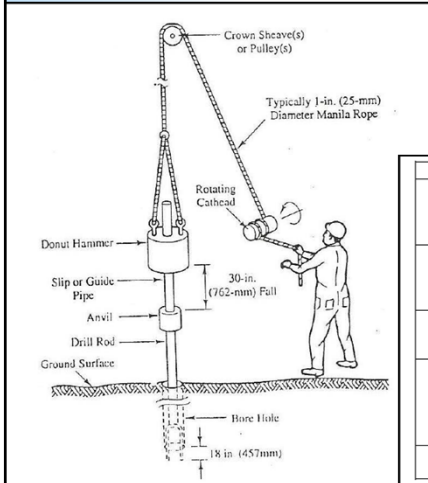
تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

آزمایش SPT



تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

آزمایش SPT



$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

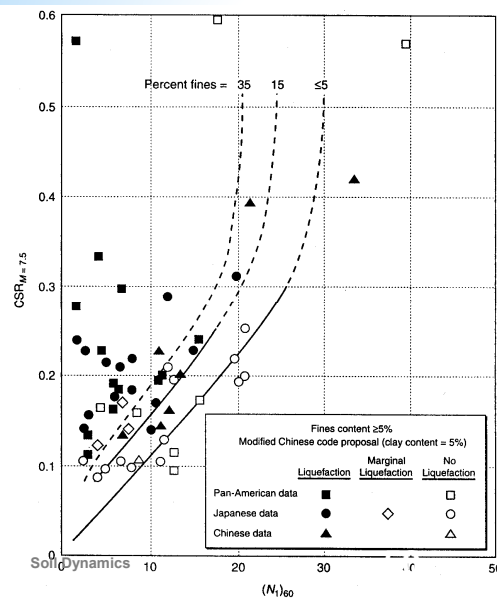
Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Overburden Pressure		C_N	$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_b}}$ <small>$P_a = 100 \text{ kPa}$</small>
Energy ratio	Donut Hammer Safety Hammer Automatic-Trip Donut-Type Hammer	C_E	0.5 to 1.0 0.7 to 1.2 0.8 to 1.3
Borehole diameter	65 mm to 115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1.0 1.05 1.15
Rod length	3 m to 4 m 4 m to 6 m 6 m to 10 m 10 m to 30 m >30m	C_R	0.75 0.85 0.95 1.0 (1.0)
Sampling method	Standard sampler Sampler without liners	C_S	1.0 1.1 to 1.3

Soil Dynamics

49

تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

CSR_{M=7.5}



استفاده از عدد آزمایش نفوذ استاندارد در تعیین پتانسیل روانگرایی

Relationship between Stress Ratio Causing Liquefaction and $(N_1)_{60}$ values for Silty Sand for $M = 7.5$ (after Seed et al. 1985)

TABLE 2. Corrections to SPT (Modified from Skempton 1986) as Listed by Robertson and Wride (1998)

Factor (1)	Equipment variable (2)	Term (3)	Correction (4)
Overburden pressure	—	C_N	$(P_a/\sigma'_b)^{0.5}$
Overburden pressure	—	C_N	$C_N = 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5–1.0
Energy ratio	Safety hammer	C_E	0.7–1.2
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hammer	C_E	0.8–1.3
Borehole diameter	65–115 mm	C_B	1.0
Borehole diameter	150 mm	C_B	1.05
Borehole diameter	200 mm	C_B	1.15
Rod length	<3 m	C_R	0.75
Rod length	3–4 m	C_R	0.8
Rod length	4–6 m	C_R	0.85
Rod length	6–10 m	C_R	0.95
Rod length	10–30 m	C_R	1.0
Sampling method	Standard sampler	C_S	1.0
Sampling method	Sampler without liners	C_S	1.1–1.3

تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

اصلاح تاثیر تنش برشی اولیه و فشارهای جانبی بزرگ

$$CRR = CSR_L = CSR_{7.5} k_M k_\sigma k_\alpha$$

زلزله با بزرگی	k_M
5.25	1.5
6	1.32
6.75	1.13
7.5	1.
8.5	0.89

CSR_L نسبت تنش های سیکلی بحرانی جهت وقوع روانگرایی اولیه
 $CSR_{7.5}$ نسبت تنش های سیکلی بحرانی در زلزله ۷/۵ ریشتر
 k_α تاثیر تنش برشی اولیه
 k_σ تاثیر فشارهای جانبی بزرگ
 k_M تاثیر زلزله های با بزرگی متفاوت

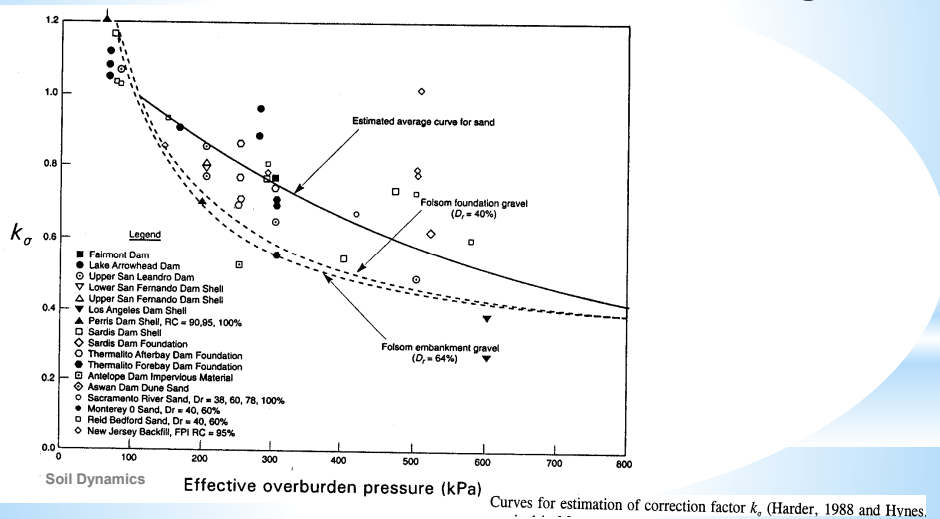
$$FS_L = CSR_L / CSR_{EQ}$$

CRR= Cyclic Resistance Ratio

Soil Dynamics

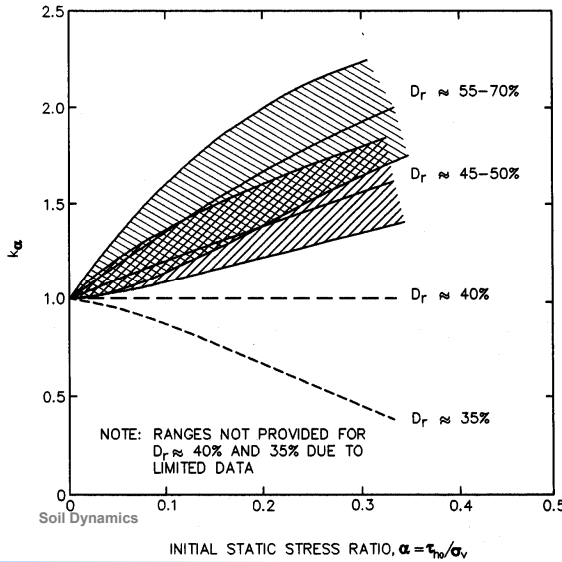
تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

اصلاح تاثیر فشارهای جانبی بزرگ



تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

اصلاح تاثیر تنش برشی اولیه



Curves for estimation of correction factor, k_a (Harder, 1988 and Hynes, 1988, as cited in Marcuson et al., 1990).

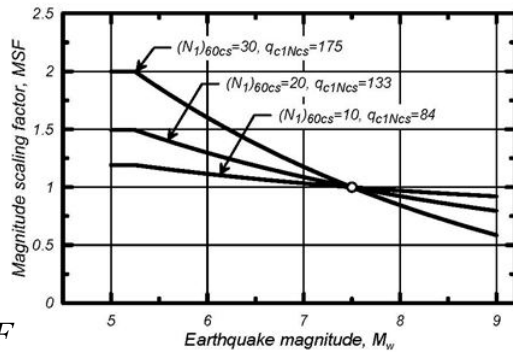
تعیین پتانسیل روانگرایی - عدد آزمایش نفوذ استاندارد

$$CRR_{(M=7.5)} = \frac{1}{34 - (N1_{60})} + \frac{(N1_{60})}{135} + \frac{50}{(10 \cdot N1_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

for $M_w < 7$;
 $MSF = 10^3 \times M_w^{-3.46}$

for $M_w \geq 7$;
 $MSF = 10^{2.24} \times M_w^{-2.56}$

$$CRR = CRR_{(M=7.5)} \times MSF$$

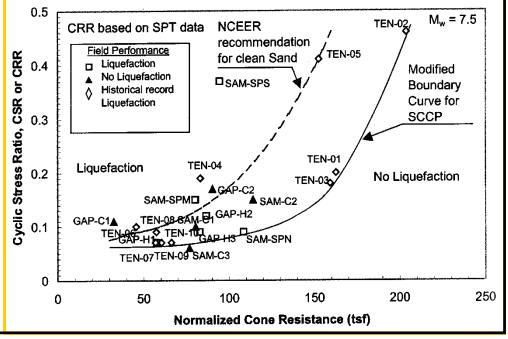
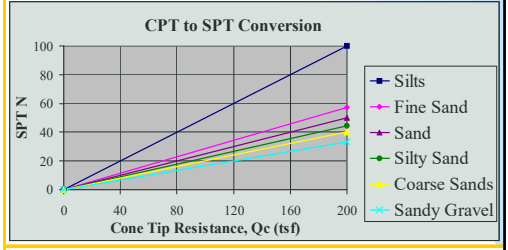
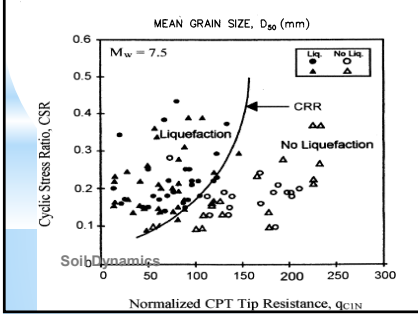
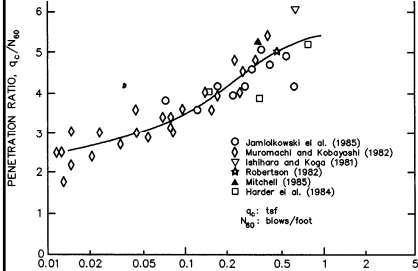


Soil Dynamics

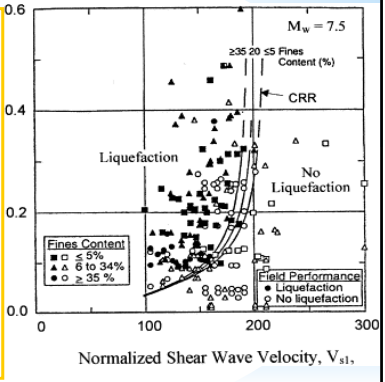
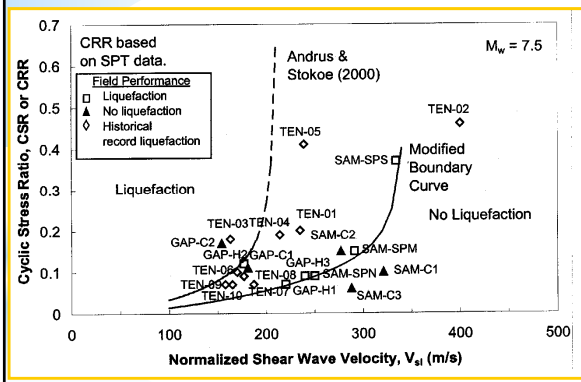
54

تعیین پتانسیل روانگرایی - آزمایش نفوذ مخروط

Variation of q_c/N_{60} ratio with mean grain size, D_{50} (Seed and De Alba, 1986, reprinted by permission of ASCE).



تعیین پتانسیل روانگرایی - سرعت موج برشی



روش دبری و همکاران - روش کرنش ساده شده

$$\gamma_{cyc} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v r_d}{G(\gamma_{cyc})}$$

کرنش اعمال شده ناشی از زلزله

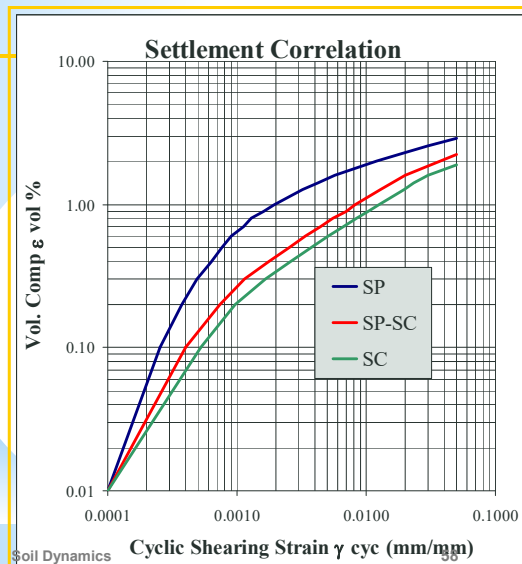
با استفاده از آزمایش کرنش کنترل در آزمایشگاه با کرنش های مختلف ($\gamma_{cyc-lab}$) تعداد سیکل متناظر با روانگرایی $N_{(l,\gamma)}$ را بدست می آوریم:

- At $\gamma_{cyc} = \gamma_{cyc-lab}$ compare N_{eq} to $N_{(l,\gamma)}$
- If $N_{eq} > N_{(l,\gamma)}$ liquefaction possible
- If $N_{eq} < N_{(l,\gamma)}$ liquefaction not possible

Soil Dynamics

57

روش دبری و همکاران - روش کرنش ساده شده



برای هر لایه خاک می توان کرنش برشی را تبدیل به کرنش حجمی نمود
با ضرب ارتفاع لایه در کرنش حجمی تغییر شکل لایه بدست می آید
از جمع تغییر شکل لایه ها نشست در سطح خاک بدست می آید

Soil Dynamics

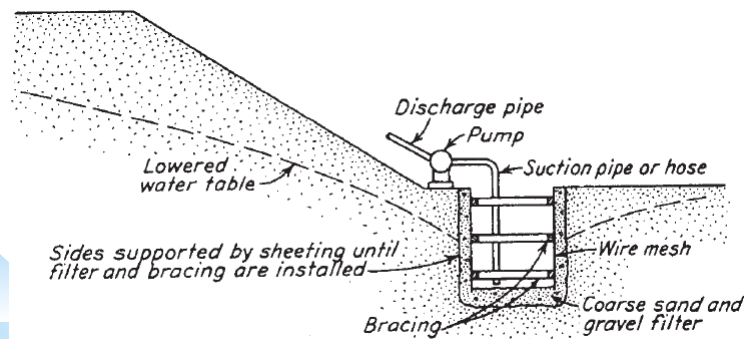
پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تعویض خاک
- زهکشهای شنی یا خرده سنگی
- استفاده از پی های عمیق و نیمه عمیق (شمع)
- تقویت خاک

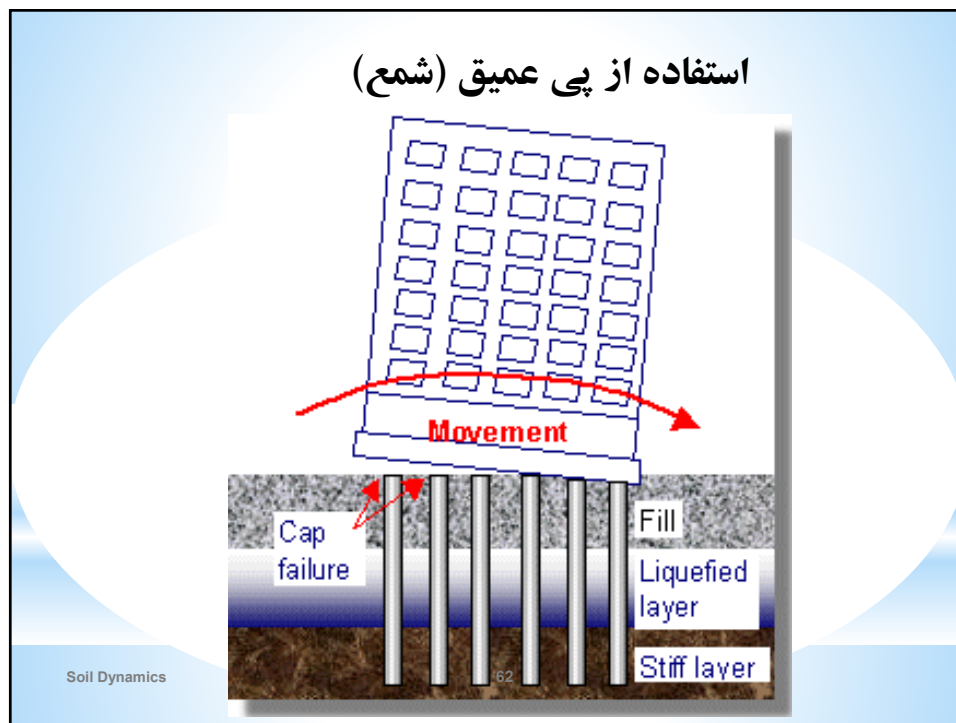
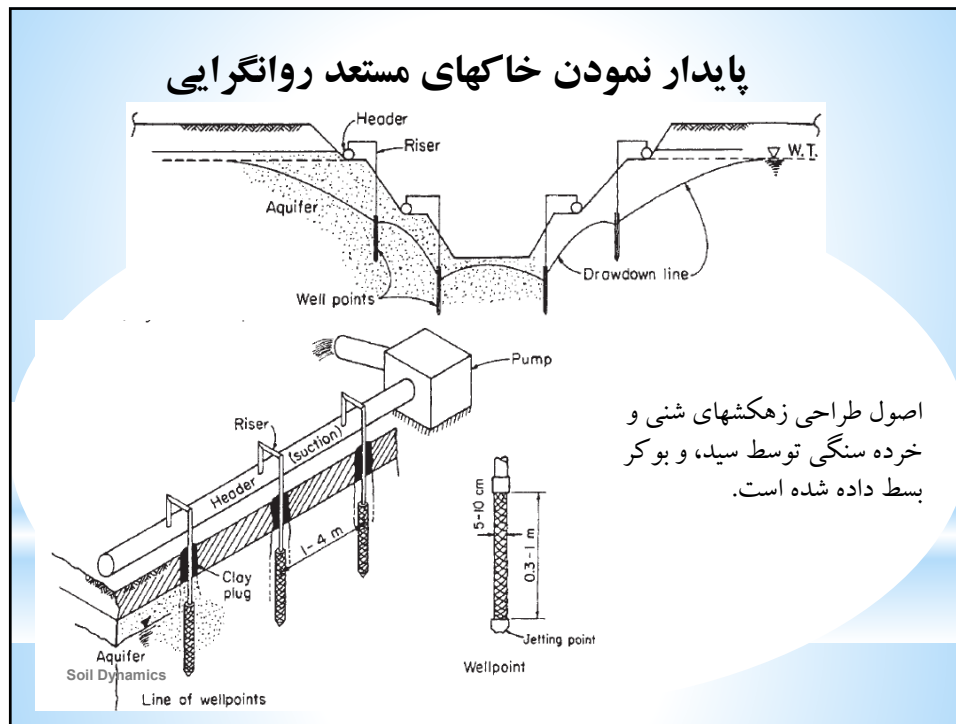
Soil Dynamics

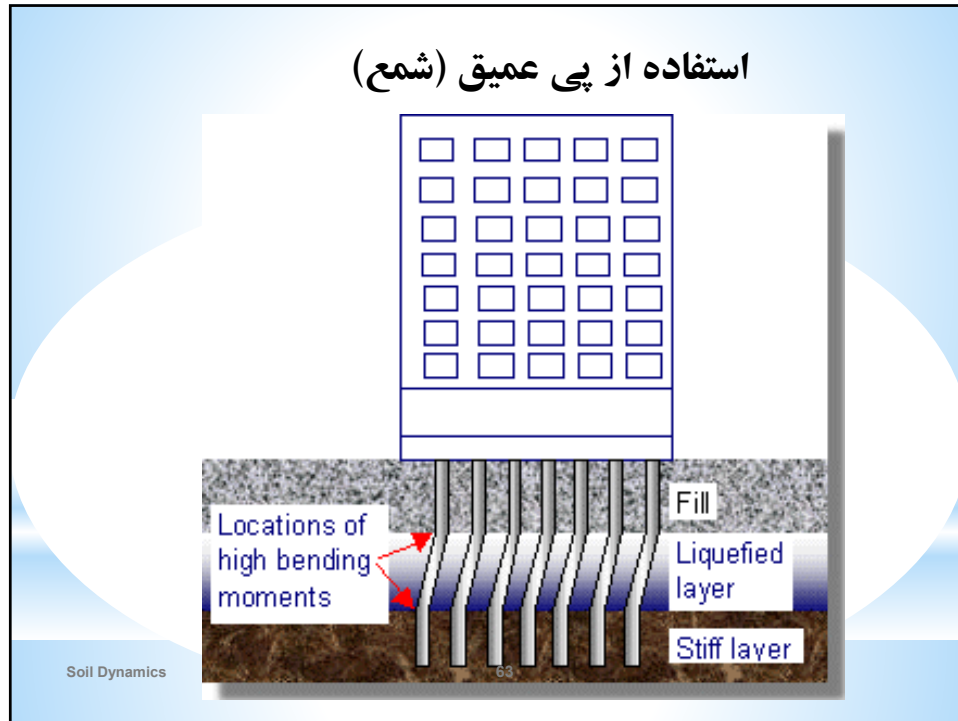
پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- زهکشهای شنی یا خرده سنگی
- هدف از تعبیه زهکشهای شنی یا خرده سنگی زایل نمودن اضافه فشار آب حفره ای می باشد که به علت بارهای تناوبی در نهشته ای ماسه ای به وجود می آید.



Soil Dynamics





پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تقویت خاک
- تزریق تراکمی
- تراکم شیمیایی
- تزریق ملات سیمان
- تزریق با سرعت
- تزریق همراه با ارتعاش
- جایگزینی ارتعاشی
- ستون بتنی همراه با ارتعاش
- تراکم ارتعاشی
- تراکم دینامیکی عمیق
- اختلاط عمقی خاک
- انفجار
- ریز شمع

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- انفجار

انفجار مقداری ماده منفجره در عمق و ایجاد امواج ناگهانی در زمین است.
روش انفجار برای تراکم خاک دانه‌ای سیمانی نشده رسوبی با تراکم کمتر از ۵۰-۶۰٪، اشباع و زهکش آزاد تا عمق بالای ۳۵ متر مناسب است

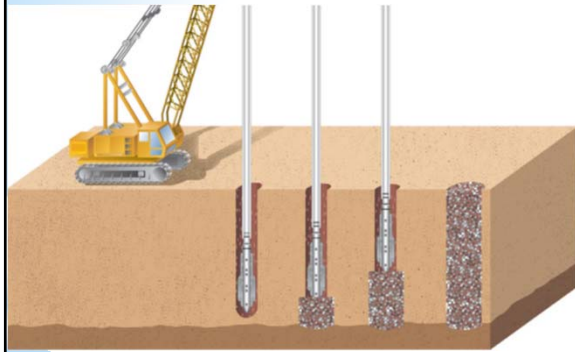
پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تراکم ارتعاشی

vibroflot ویبروفلت ها با فرکانس متغیر معمولاً دارای قطری بین ۳۰ تا ۴۵ سانتیمتر و طول ۳ تا ۵ متر می‌باشند.
حرکت دورانی گریز از مرکز باعث ارتعاشی شعاعی در اطراف ویبراتور می‌شود.
ویبراتور با وزن خود (معمولاً به کمک تزریق آب یا هوا) در زمین نفوذ می‌کند. این وسیله عموماً تا عمق ۵ تا ۱۵ متر را متراکم می‌کند.

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- جایگزینی ارتعاشی (ستون سنگی)



خاکی که برای تراکم ارتعاشی مناسب نیست (به دلیل ریزدانه زیاد یا مواد زائد دیگر) با خاک درشت دانه (شن یا قلوه سنگ) به شکل ستون سنگی جایگزین می شود.

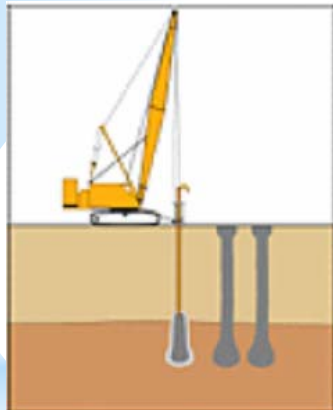
ستون های سنگی عموماً به قطر ۰/۶ تا ۱ متر ساخته شده و دارای ظرفیت باربری مناسب و توان زهکشی می باشند.

Soil Dynamics

67

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- جایگزینی ارتعاشی (ستون بتنی)



برای خاک سست، چسبنده و آلی در معرض بار زیاد مناسب است.

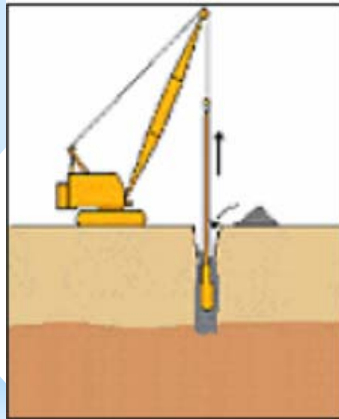
ستون های بتنی باربری پی را افزایش داده و باعث بهبود پایداری شيروانی می شود

Vibro Concrete Column

Soil Dynamics

68

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی



Vibro-Replacement

Soil Dynamics

69

- جابجایی ارتعاشی

گاهی در خاک غیر چسبنده، خاک موجود در محل تعویض نمیشود. بلکه با ویبره و پس از آن با جابجایی جانبی بیشتر به دلیل ایجاد ستون سنگی تراکم می گردد.

این روش برای افزایش ظرفیت خاک ماسه ای که به تنهایی با ویبره به تراکم مورد نظر نمی رسد مناسب است.

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- ستون شنی

نوع از ستون های سنگی به پایه های دانه ای کوبیده شده (RAP یا ژئوپایر) و ویبروپایرها معروف اند. این نوع عموماً کوتاه تر از ستون های سنگی متعارف هستند.

ویبروپایرها به کمک همان دستگاه های تراکم ارتعاشی تشکیل می شوند در حالی که RAP ها با ضربات متوالی قائم با چکش ضربه ای ساخته می شوند.

این روش برای کاهش روانگرایی در سیلت یا ماسه بسیار مناسب است

Soil Dynamics
Rammed Aggregate Pier

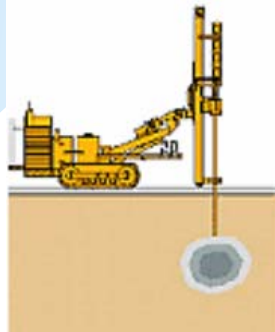
70

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تزریق تراکمی

حباب متراکم بدلیل تزریق دوغاب سیمان

بهبود مقاومت خاک و کاهش نشست را در این روش داریم



Soil Dynamics
Compaction Grouting

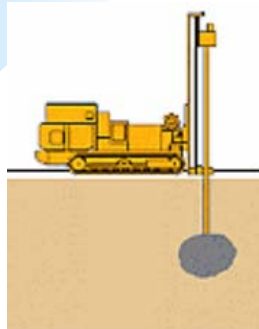
71

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تراکم شیمیایی

حباب متراکم بدلیل وجود ماده شیمیایی

در اطراف تونل ها و برای نفوذناپذیر کردن خاک مناسب است



Soil Dynamics
Chemical Grouting

72

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تراکم دینامیکی عمیق



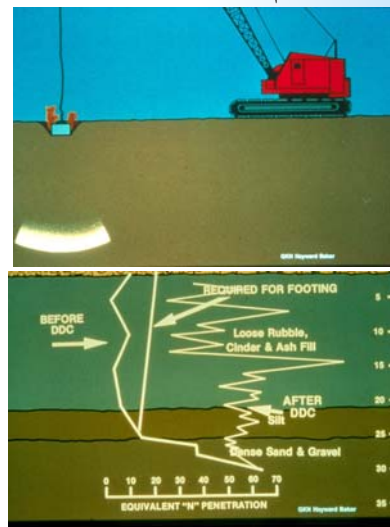
هنگامی که در نزدیک پروژه ساختمان دیگری وجود ندارد و آب بیش از یک و نیم متر از سطح پایین است بسیار مناسب است. وزنه ۱۵ تا ۳۵ تنی معمولاً استفاده می‌شود.

Soil Dynamics
Deep Dynamic Compaction

73

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تراکم دینامیکی عمیق



Deep Dynamic Compaction

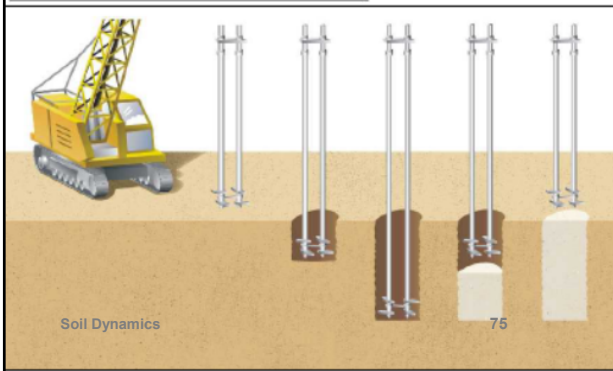
74

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی



- اختلاط عمقی خاک

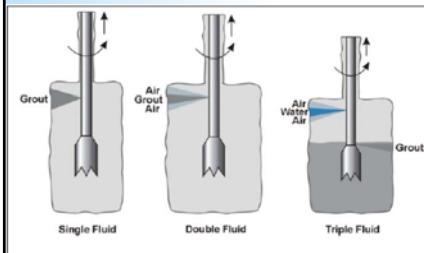
خاک در عمق با سیمان مخلوط شده و مقاومت را افزایش می دهد



پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تزریق جت ملات

تزریق جت: تزریق ملات با فشار زیاد و سرعت زیاد (۲۰۰ متر بر ثانیه)
ساختار خاک شکسته شده و یک ستون مقاوم از ترکیب ملات و خاک محل ایجاد میشود



Soil Dynamics
Jet grouting

76

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- تزریق جت ملات

دستگاه تزریق جت در حال تست



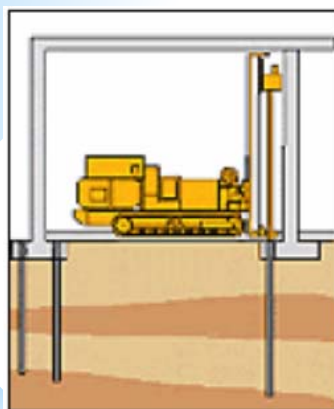
Jet grouting

عدم اطمینان در مقاومت و قطر
ستون ایجادشده وجود دارد

پایدار نمودن خاکهای مستعد روانگرایی

- ریزشمع

با ایجاد شمع‌های کوچک می‌توان مقاومت
خاک را بهبود بخشید



Micropile or Mini Pile

78