

پدیده روانگرایی خاک

(Liquefaction)

Nigata,
Japan,
1964



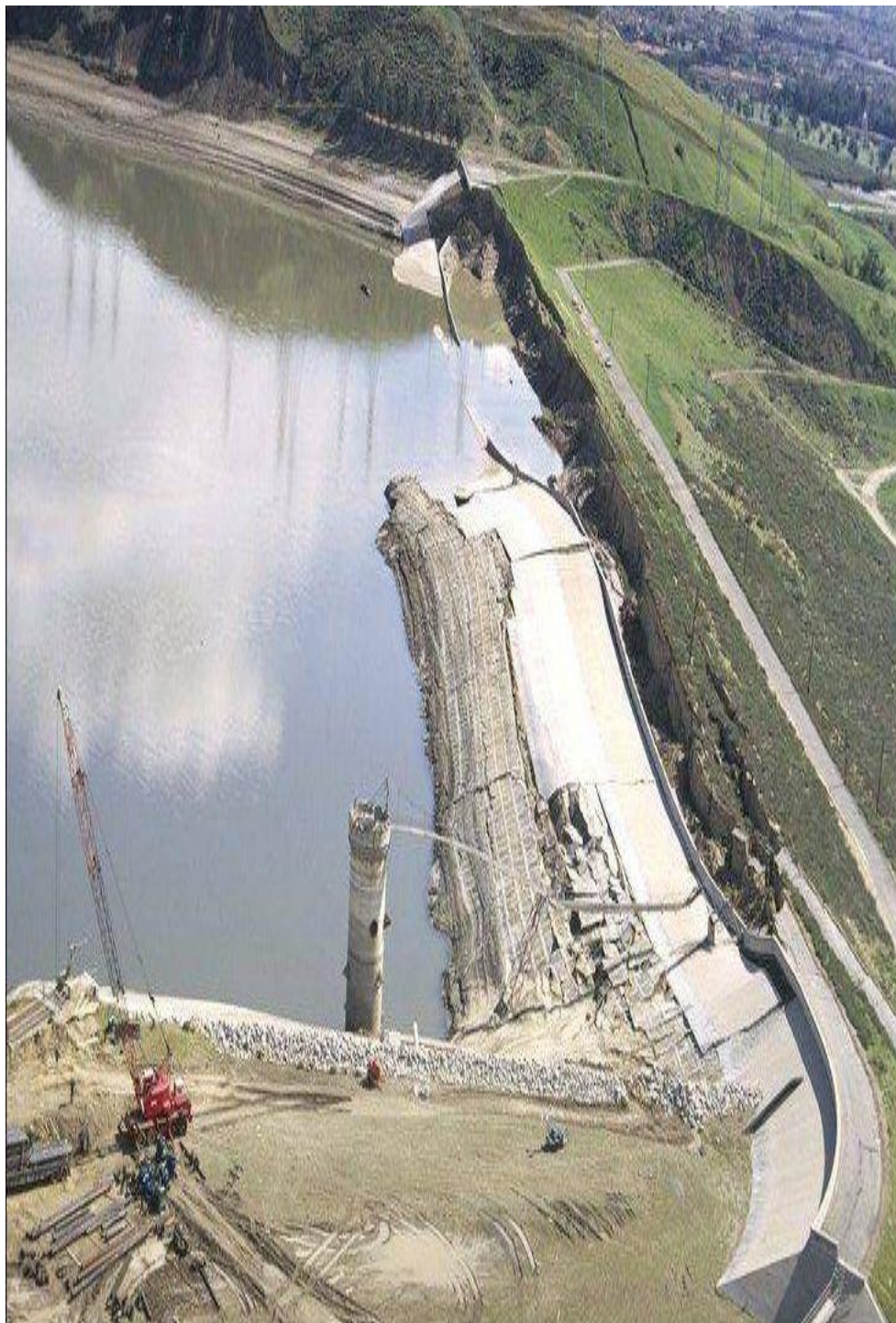
روانگرایی خاک پدیده ای است که به دلیل کاهش سختی و مقاومت خاک در اثر وارد آمدن نیروی زلزله یا یک بارگذاری سریع صورت می گیرد. روانگرایی خاک و پدیده های مرتبط با آن در زلزله های سالیان گذشته صدمات زیادی را در سراسر جهان وارد کرده اند.

روانگرایی فقط در خاکهای فاقد چسبندگی و در حالت اشباع صورت می گیرد.

پیش از زلزله فشار آب همان فشار هیروستاتیکی است اما با وقوع لرزش زلزله فشار آب افزایش یافته بطوریکه ذرات خاک به سرعت در کنارهم شروع به حرکت می کنند.

هرچند اغلب لرزش زمین، سبب افزایش فشار آب منفذی می گردد اما فعالیت های مرتبط ساختمانی همانند انفجار یا آبگیری مخازن و بطور کلی تغییر در تنش ارتجاعی زمین از طریق بارگذاری و باربرداری نیز می تواند سبب روانگرایی در خاک گردد.

جوشش ماسه که در حین وقوع زلزله در سطح زمین مشاهده می شود دلیل بر وقوع روان شدگی است .



خاک روان شده پشت دیوارهای حائل می تواند سبب نشست و تخریب دیوار حائل گردد. چنانچه افزایش فشار آب منفذی در پشت سدها نیز می تواند سبب زمین لغزه و شکستن سدها گردد. روانگرایی خاک در بسیاری از زلزله های سالیان گذشته مشاهده شده است. به عنوان نمونه می توان به زلزله های

آلاسکا (Alaska, USA, 1964)،

نیگاتا (Niigata, Japan, 1964)،

لوماپریتا

(Loma Prieta, USA, 1989)

و کوبه (Kobe, Japan, 1995)

اشاره کرد.

به دلیل اینکه روانگرایی فقط در خاکهای اشباع صورت می گیرد. این پدیده معمولاً در نزدیکی رودخانه ها، دریاچه ها، خلیج ها و اقیانوس ها اثرات تخریبی بیشتری دارد. اثرات عمده این پدیده در مناطق نزدیک آب شامل:

– لغزش خاک به سمت ساحل و فرونشست آن همانند دریاچه مرسید (Lake Merced) در ۱۹۵۷

– حرکت زمین و ایجاد ترک در ساحل دریا در اثر تنش اضافی همانند رودخانه موتاگوا (Motagua River) در زلزله ۱۹۷۶ گواتمالا.

– صدمه به دیوارهای نگهدارنده بنادر و باراندازها با ایجاد فشار به خاک پشت آنها و هل دادن آن به سمت آب از دیگر صدماتی است که روانگرایی در مناطق نزدیک سواحل ایجاد می کند بطوریکه در زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن روانگرایی خاک علت صدمه اصلی به امکانات و تجهیزات بندر کوبه بود.



?????

مکانیزم روانگرایی

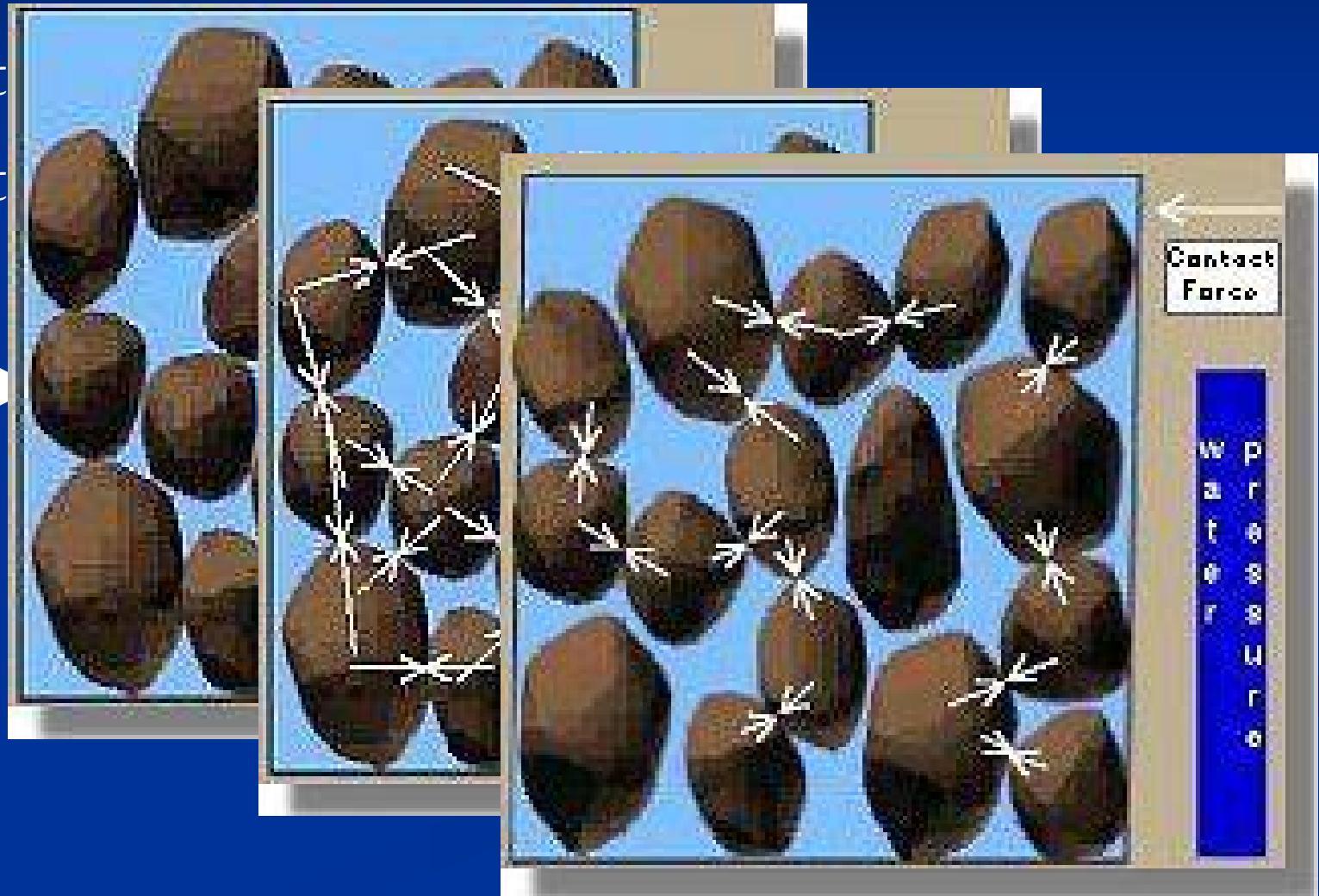
$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\tau = \sigma' \tan \phi$$

$$\tau = \sigma' \tan \phi$$

$$\tau = (\sigma - u) \tan \phi$$

$$u = \sigma \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) + c \cot \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$



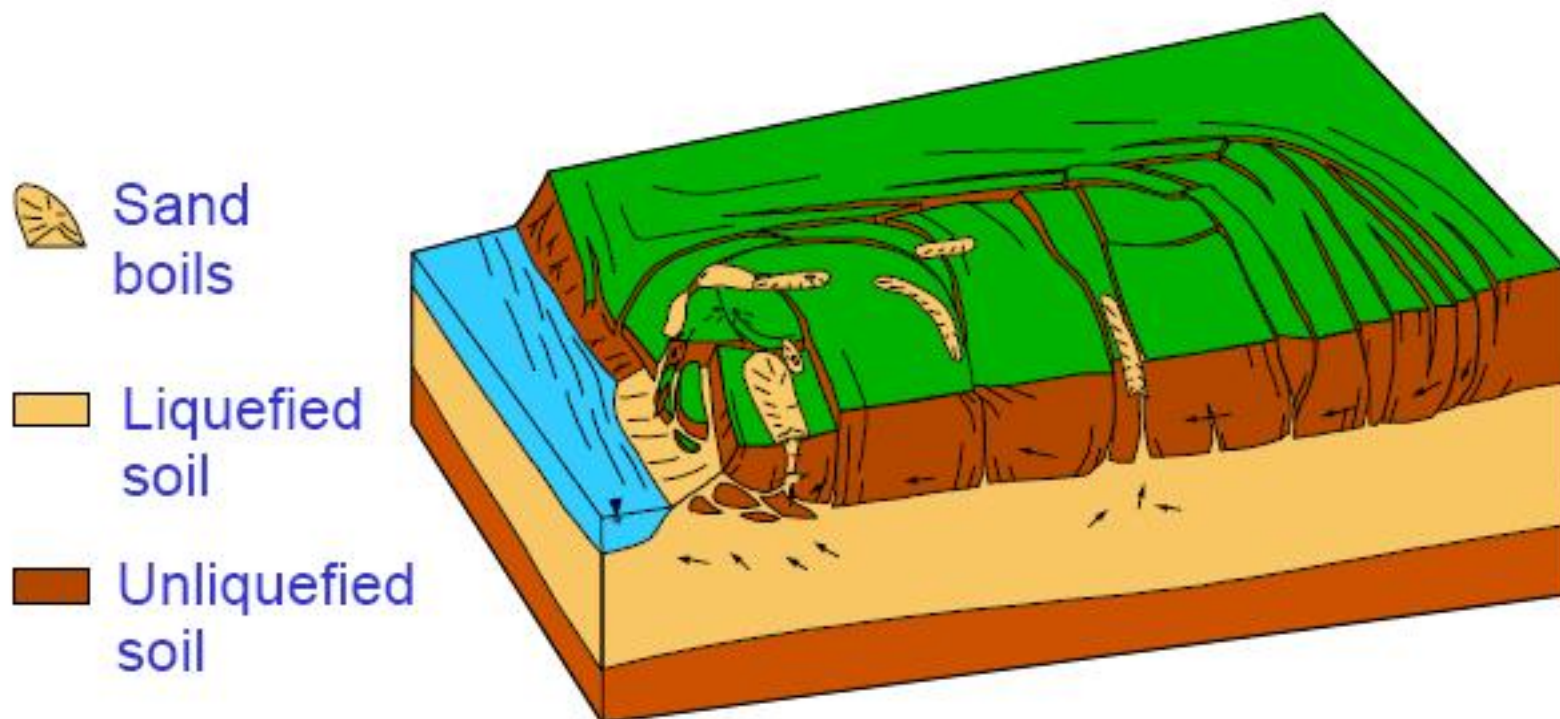
گسیختگی های زمین ناشی از روان شدگی و آثار آن بر سازه ها

اگر خاکی روان شود و استحکام برشی خود را از دست بدهد ، آنگاه ممکن است گسیختگی زمین رخ دهد اگر سازه هایی بر روی و یا در نزدیکی این نهشته های خاکی بنا شده باشند ، ممکن است آسیب ببینند . گسیختگی های زمین ناشی از روان شدگی به ۳ دسته عمده تقسیم می شود :

- گسترش جانبی
- گسیختگی های جریانی
- از بین رفتن ظرفیت باربری

گسترش جانبی – lateral spreading

گسترش جانبی، حرکت افقی لایه های خاک سطحی در جهتی به موازات سطح زمین است و وقتی اتفاق می افتد که به سبب پدیده روان شدگی استحکام برشی لایه زیرین سطح از بین برود.



گسترش جانبی عموماً در زمین‌هایی با شیب ملایم (کمتر از ۵٪) رخ می‌دهد. اگر در زیر یک سازه گسترش جانبی وجود داشته باشد، آنگاه تنش‌های کششی کافی برای تخریب کامل سازه، در آن به وجود خواهد آمد.

Pile Damage Beneath Building by Lateral Spread 1964, Niigata, Japan



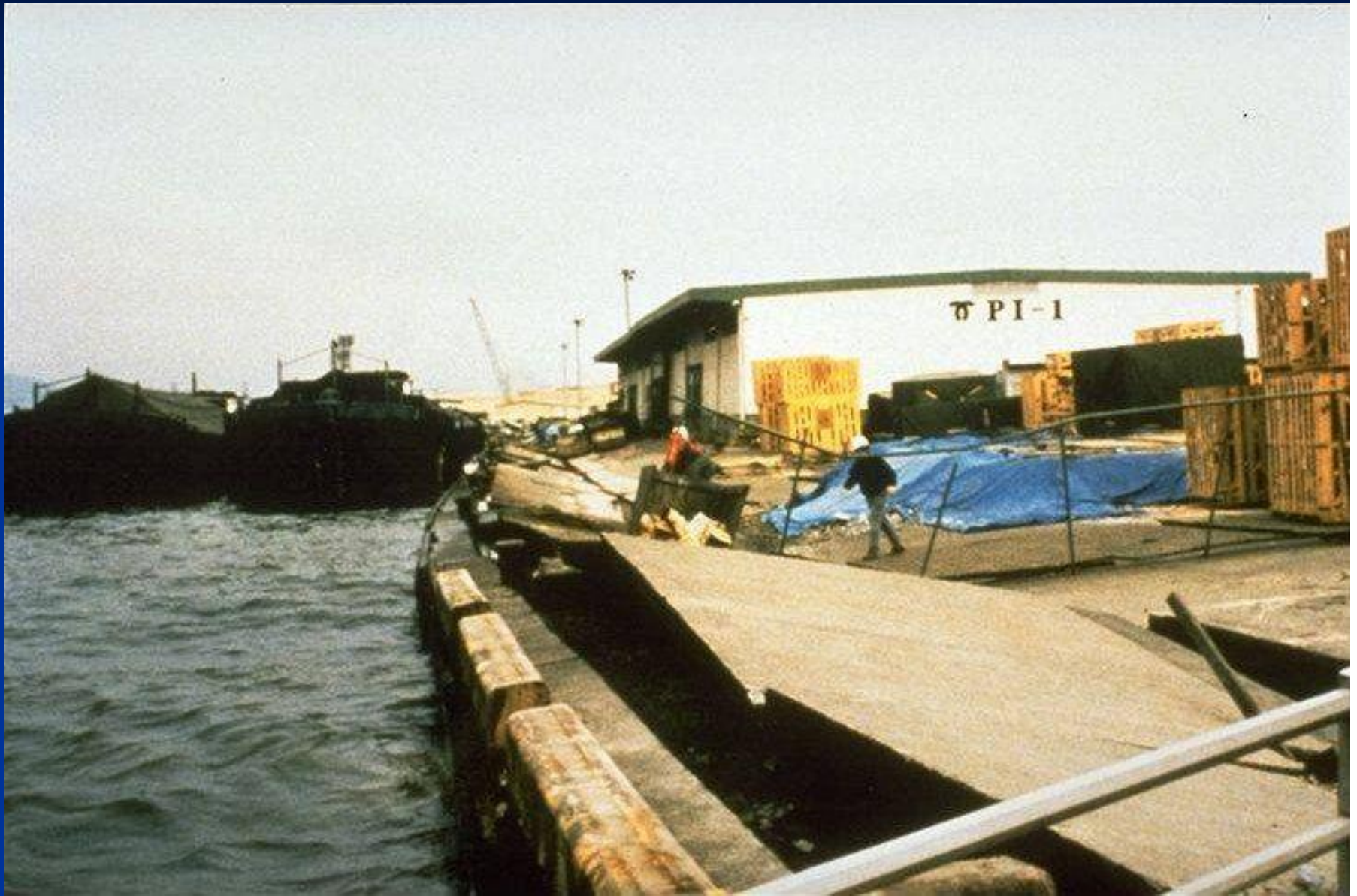
گسترش جانبی از مخرب ترین پیامدهای روانگرایی است
که علی الخصوص برای شریان های حیاتی (مدفون)
بسیار مخرب است.

- Liquefied soil also exerts higher pressure on retaining walls, which can cause them to tilt or slide. This movement can cause settlement of the retained soil and destruction of structures on the ground surface.

Kobe
1995



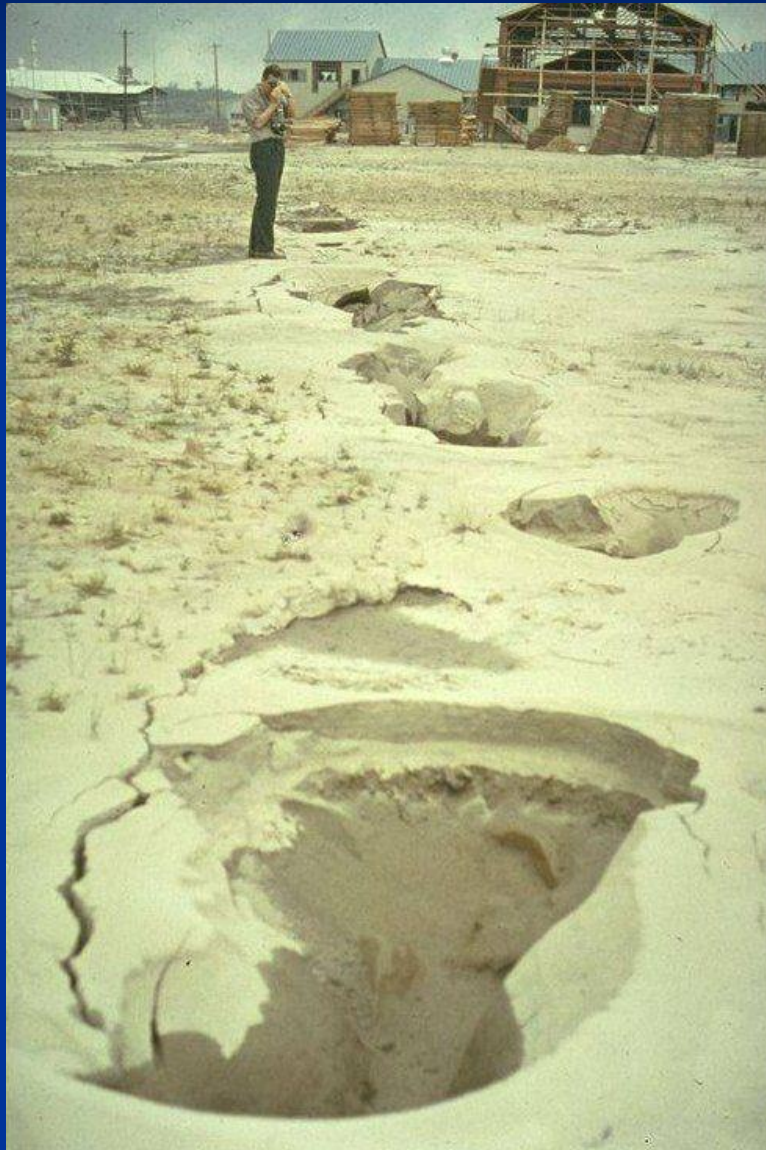
- Retaining wall damage and lateral spreading, Kobe 1995



- Increased water pressure can also trigger landslides and cause the collapse of dams. Lower San Fernando dam suffered an underwater slide during the San Fernando earthquake, 1971.



- Sand boils and ground fissures were observed at various sites in Nigata.



- Lateral spreading caused the foundations of the Showa bridge in Nigata, Japan to move laterally so much that the simply supported spans became unseated and collapsed.



- Liquefaction-induced soil movements can push foundations out of place to the point where bridge spans lose support or are compressed to the point of buckling.

Alaskan earthquake, 1964

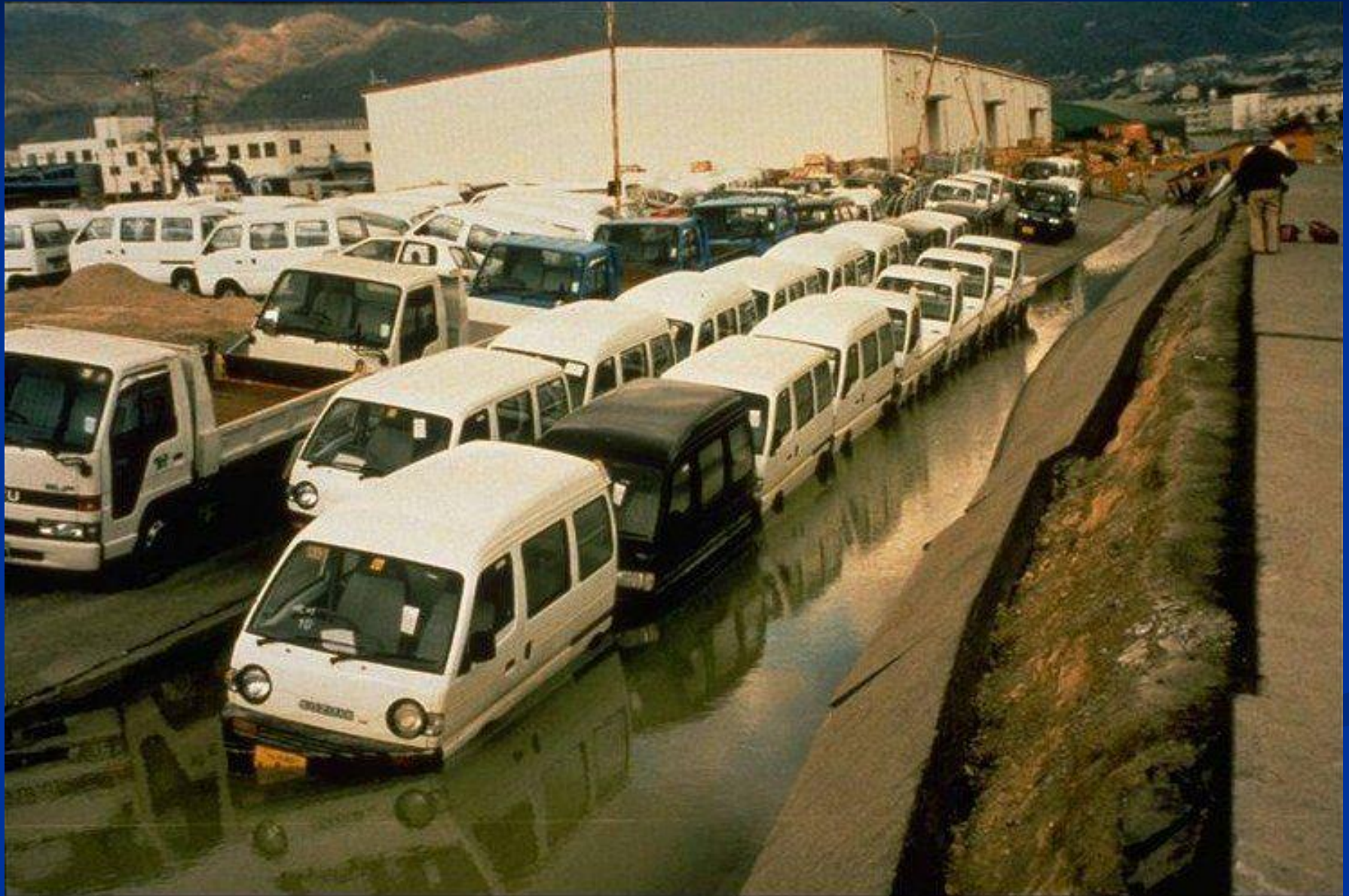


The strong ground motions that led to collapse of the Hanshin Express way also caused severe liquefaction damage to port and wharf facilities as can be seen below.



**1995 Kobe
earthquake, Japan**

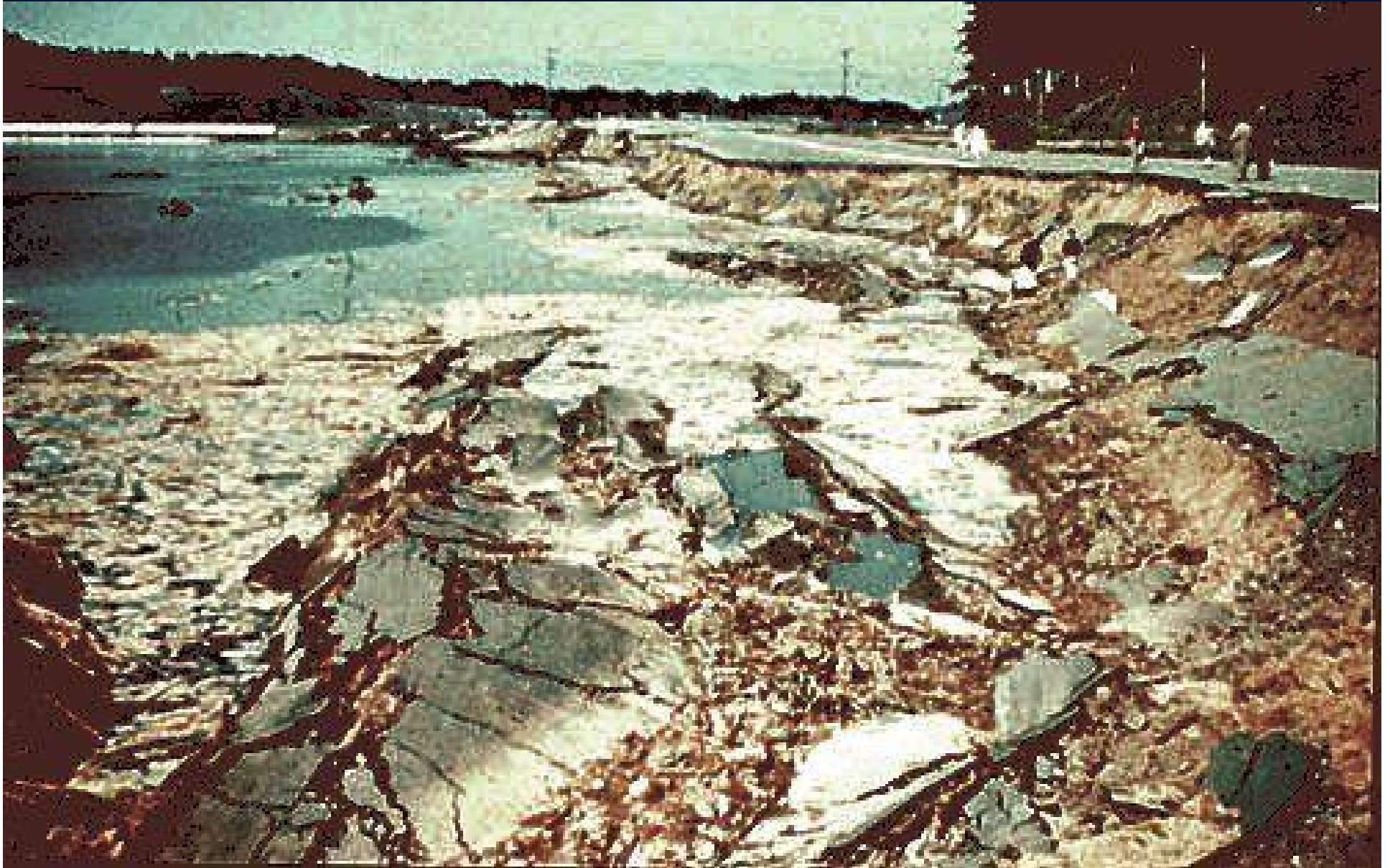
Lateral spreading caused 1.2-2 meter drop of paved surface and local flooding, Kobe 1995.



Alaska earthquake, USA, 1964



1957 Lake Merced slide



modest movements during liquefaction produce tension cracks such as those on the banks of the Motagua River following the 1976 Guatemala Earthquake.



Damaged quay walls and port facilities on Rokko Island. Quay walls have been pushed outward by 2 to 3 meters with 3 to 4 meters deep depressed areas called grabens forming behind the walls, Kobe 1995.





گسترش جانبی زمین – زلزله kocaeli ترکیه ۱۹۹۹



گسترش جانبی زمین – زلزله kocaeli ترکیه ۱۹۹۹



گسترش جانبی زمین - زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن

گسترش جانبی می تواند بر تجهیزات طویل مدفون در خاک (خطوط جریان حیاتی) تاثیر فاجعه آمیزی داشته باشد.

این اعتقاد وجود دارد که در طی زلزله بزرگ ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو شکست هایی در شبکه آبرسانی ، بر اثر گسترش جانبی ایجاد شد، تلاش برای خاموش کردن آتش سوزی را نافرجام کرد. سرانجام اکثر قسمت های سانفرانسیسکو نابود شد.



قطع خطوط راه آهن و انتقال آب



آتش سوزی پس از وقوع روانگرایی و قطع خطوط انتقال آب



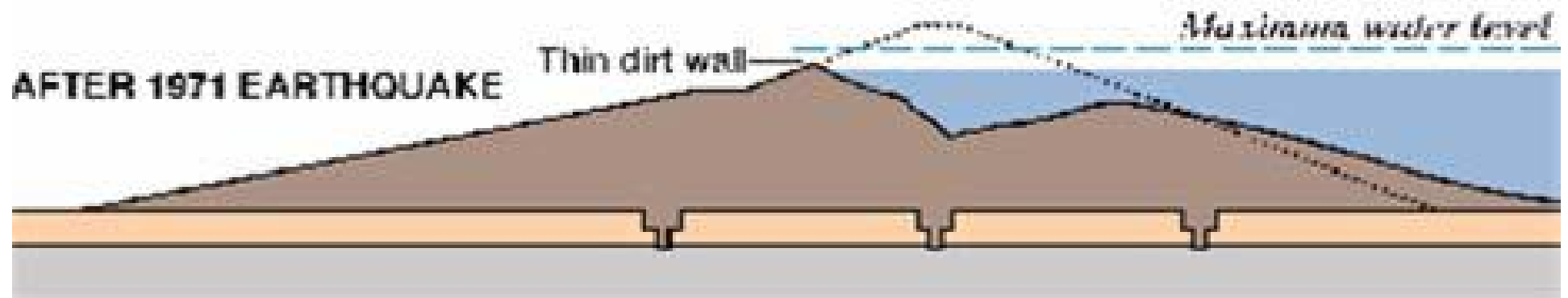
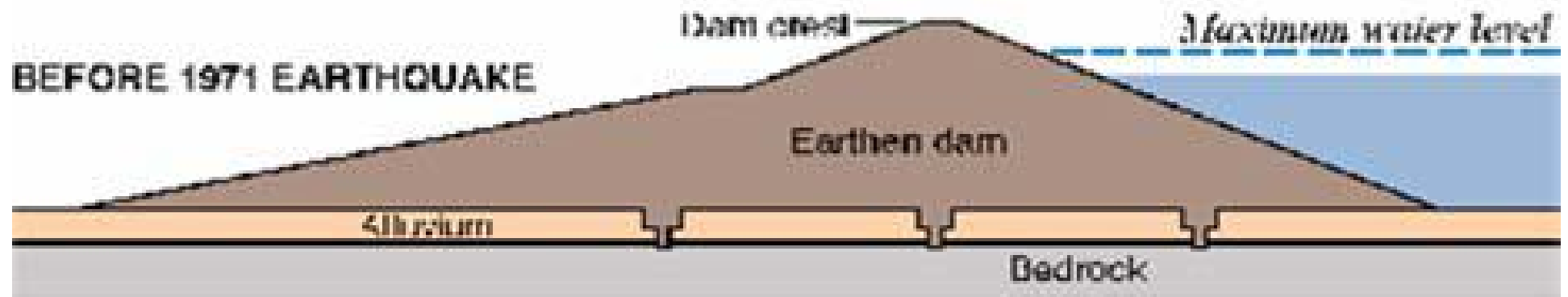
قطع جاده های ارتباطی

گسیختگی های جریان

گسیختگی های جریانی زمانی اتفاق می افتند که نواحی بزرگی از خاک روان شوند یا بلوک های خاک های روان نشده بر روی لایه ای از خاک های روان شده جریان یابند . لغزش های جریانی در جاهایی رخ می دهد که شیب ها معمولا کمتر از ۵٪ است. این پدیده ها آثار فجیعی در طی زلزله 1964 آلاسکا برجا گذاشتند .



آلاسكا ۱۹۶۴



روانگرایی جریانی – سد سان فرناندو پایینی



روانگرایی جریان‌ی - سد سان فرناندو پایینی



ترک در بالادست سد Los Angeles در زلزله Northridge (1994)

از بین رفتن ظرفیت باربری

روان شدگی می تواند به از دست رفتن ظرفیت باربری نیز منجر شود که این امر معمولاً با تغییر شکلهای بزرگ خاک همراه است . ممکن است سازه هایی که بر روی این خاکها قرار دارند نشست کنند ، کج شوند و یا حتی واژگون شوند . حتی سازه های مدفون در خاک به بیرون از زمین پرتاب شده اند . در بدترین حالات ، که ضخامت لایه های خاک روان شده زیاد است ، گسیختگی هایی به صورت کج شدگی یا واژگونی ، از قبیل گسیختگی هایی که در طی زلزله ۱۹۶۴ در نیگاتای ژاپن مشاهده شد می تواند ایجاد شود .

در حالتی که لایه خاک روان شده کم ضخامت باشد، یا در حالتی که لایه خاک روان نشده نسبتاً ضخیمی بر روی یک نهشته از خاک روان شده قرار داشته باشد، کج شدگی شدید یا واژگونی سازه ها رخ نمی دهد اما **نشست قائم تفاضلی** می تواند ایجاد شود .

ممکن است سازه های مدفون در خاک، از قبیل مخازن زیر زمینی ، به سبب افزایش فشار آب منفذی مربوط به روان شدگی دستخوش شناوری شدیدی شوند . سازه های حائل ، از قبیل دیوارهای حائل یا سازه های بندر، زمانی که در خاک های اطراف آنها روان شدگی رخ می دهد در معرض فشارهای جانبی شدید قرار می گیرند. تشکیل چاهک (در زمانی که جوشش ماسه رخ می دهد) باعث نشست تفاضلی یا کج شدگی سازه هایی می شود که بر روی پی های کم عمق قرار گرفته اند. البته میزان تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم گسیختگی های ناشی از روان شدگی بر سازه ها به وسعت روان شدگی بستگی دارد .

اگر روان شدگی در لایه ماسه ضخیم و وسیع افقی به وجود آید ،انتظار می رود که آثار آن بر روی سازه ها بسیار زیاد باشد. اما اگر روان شدگی منحصر به لایه های کم ضخامت و غیر پیوسته ای از خاک (عدسی ها) شود ، آنگاه سازه ها دستخوش آسیب جزئی می شوند و یا اصلا آسیب چشمگیری نمی بینند .



کوبه ، ژاپن ۱۹۹۵



هر دو عکس ایزمیت ، ترکیه ۱۹۹۹

تحلیل روانگرایی

خاک های ماسه ای، ماسه های لای دار، لای های ماسه دار و لای های غیر خمیری (ML) و بعضی شن ها در حالت شل (تراکم کم) و اشباع مستعد به روانگرایی در هنگام زلزله هستند.

برآورد خطر روانگرایی از مهمترین مسائل در ساخت سازه ها و تاسیسات بر روی خاک های مستعد است. برای برآورد خطر زلزله به روش زیر عمل می شود :

۱- تعیین شتاب حداکثر در سطح زمین a_{max}

برای تعیین شتاب حداکثر می توان از روش های زیر استفاده کرد:

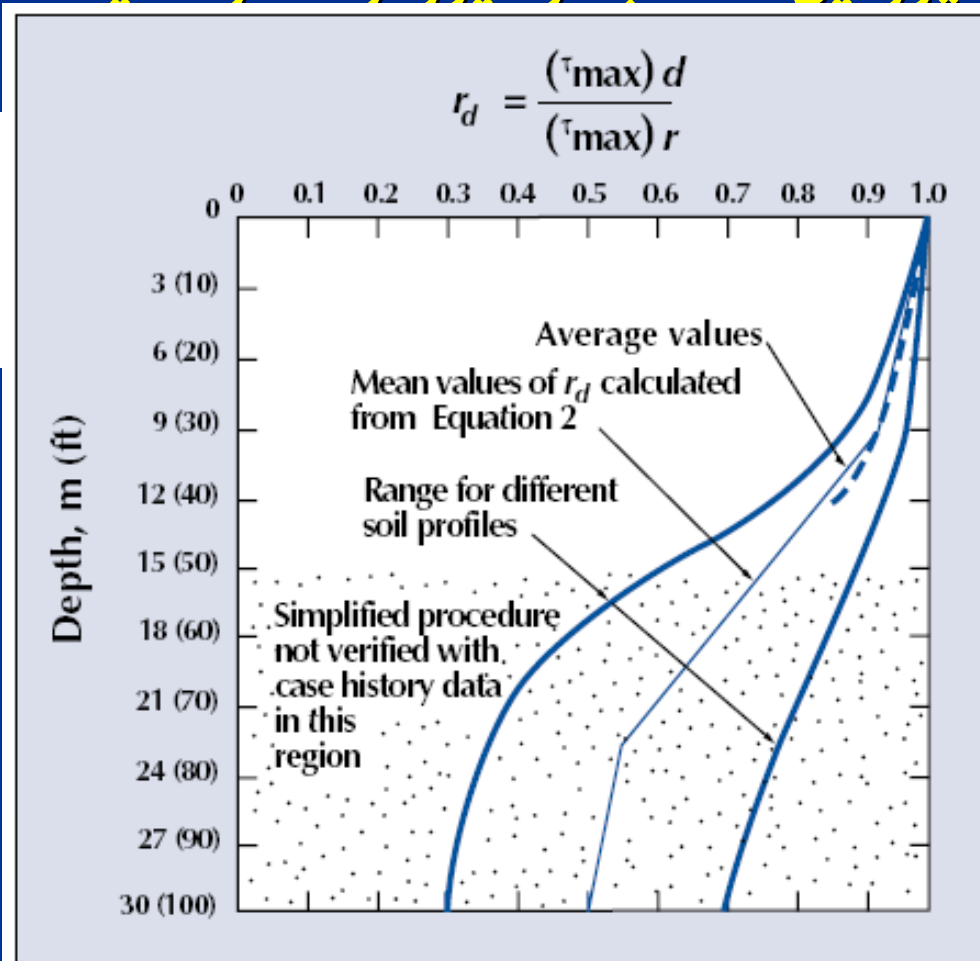
- رکورد زلزله ثبت شده در نزدیکی محل مورد نظر
- از روابط attenuation که در آن شتاب حداکثر را به بزرگی زلزله مرتبط میسازد.
- از مطالعه تخیل خطر برای سایت مورد نظر و در نظر گرفتن اثرات ساختگاهی بر روی شتاب حداکثر
- نقشه های خطر زلزله

تحلیل روانگرایی

۲- محاسبه demand

Demand کمیتی است که برای نشان دادن لرزش ناشی از زلزله در یک پروفیل خاک بکار میرود و معمولاً دیماندر را با ضریب تنش سیکلیک می کنند.

$$CSR = \left(\tau_{av} / \sigma'_{vo} \right) = 0.65 \left(a_{max} / g \right) \left(\sigma_{vo} / \sigma'_{vo} \right) r_d \quad (1)$$



۳- تعیین مقاومت خاک در برابر روانگرایی (CRR) (Cyclic Resistance Ratio)

CRR را میتوان از نتایج آزمایش SPT، CPT و یا از اندازه گیری سرعت موج برشی بدست آورد.

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

۴- اصلاح N

عدد SPT که در گمانه بدست میاید بشرح زیر اصلاح می گردد:

N = measured penetration resistance, blows per foot

C_N = correction for overburden pressure = $(P_a / \sigma'_{vo})^{0.5}$

P_a = atmospheric pressure in same units as σ'_{vo} = 1 tsf,
100 kPa, 1 kg/cm²

C_E = energy correction (see Table 2)

C_B = borehole diameter correction (see Table 2)

C_R = correction for rod length (see Table 2)

C_S = correction for sampling method (see Table 2)

جدول تصحيح سـط

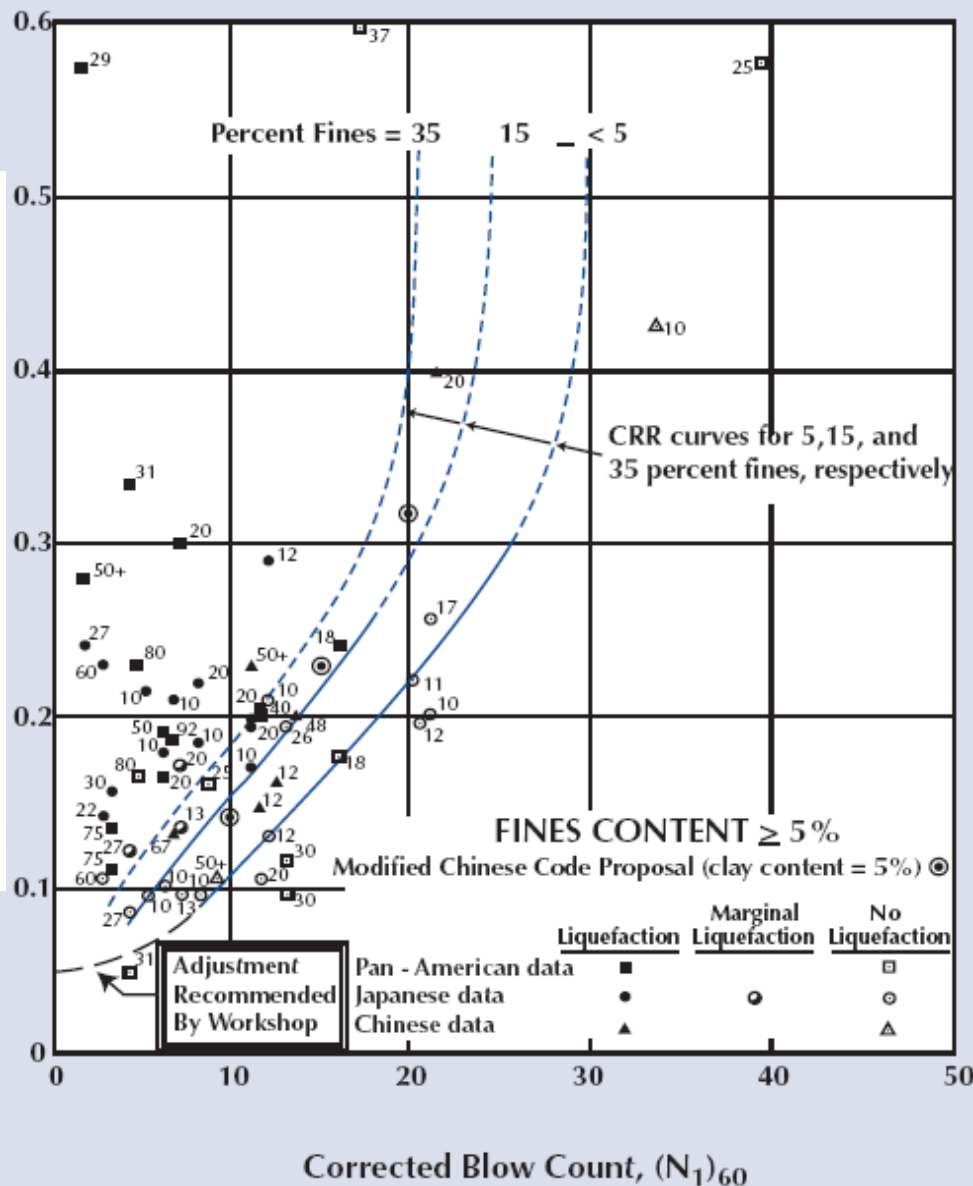
Factor	Test Variable	Term	Correction
Overburden Pressure ¹		C_N	$(P_a / \sigma_{vo}')^{0.5}$ $C_N \leq 1.7$
Energy Ratio	Donut Hammer Safety Hammer Automatic-Trip DonutType Hammer	C_E	0.5 to 1.0 0.7 to 1.2 0.8 to 1.3
Borehole Diameter	65 mm to 115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1.0 1.05 1.15
Rod Length ²	< 3 m 3 m to 4 m 4 m to 6 m 6 m to 10 m 10 m to 30 m > 30 m	C_R	0.75 0.8 0.85 0.95 1.0 >1.0
Sampling Method	Standard Sampler Sampler without Liners	C_S	1.0 1.1 to 1.3

۵- تعیین امکان وقوع روانگرایی

بطور کلی پتانسیل امکان وقوع روانگرایی و خسارت های ناشی از آن را می توان از جدول زیر استنباط کرد.

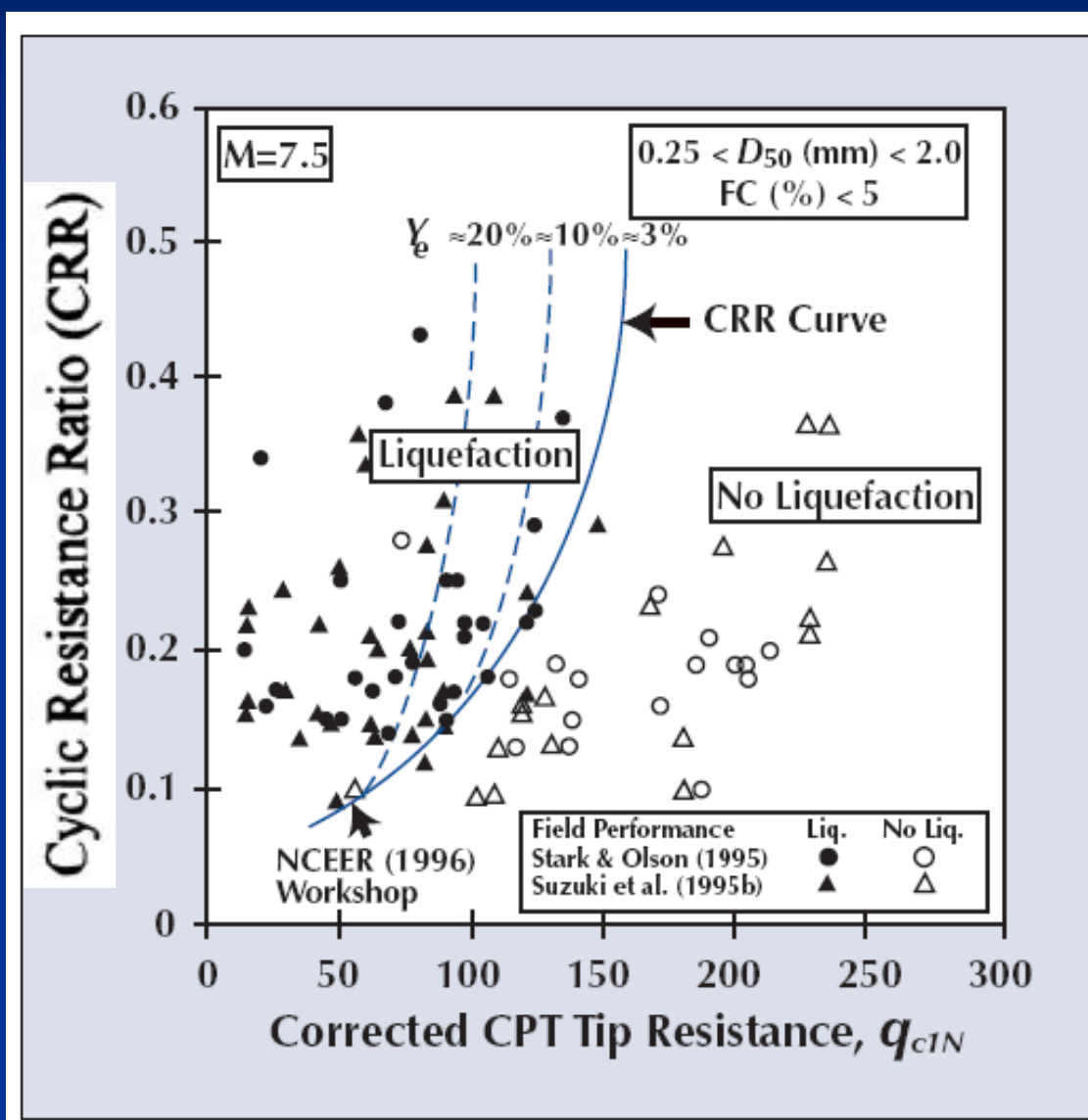
$(N_1)_{60}$	Potential damage
0-20	High
20-30	Intermediate
>30	No significant damage

Cyclic Resistance Ratio (CRR)

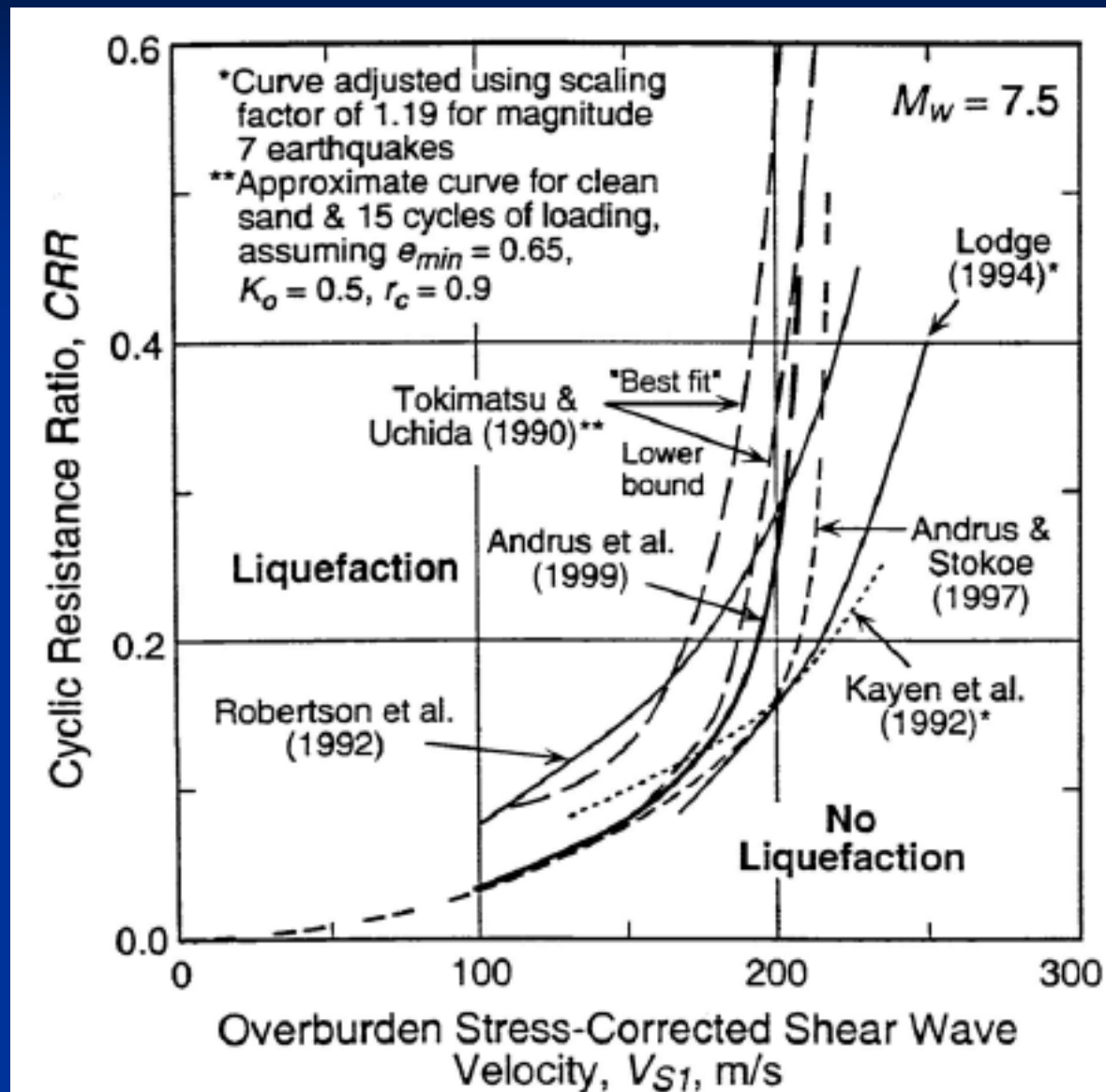


نمودار روبرو امکان وقوع روانگرایی و عدم امکان را بطور دقیق تر نشان میدهد. هر منحنی که مربوط به درصد معینی از ریز دانه خاک است زون های روانگراشدن و عدم وقوع را از هم جدا می کند. سمت راست هر منحنی نشان دهنده زون ایمن و سمت چپ هر منحنی نشان دهنده امکان وقوع روانگرایی است. نتایج تجربی است.

استفاده از مقاومت نوک CPT برای تعیین امکان روانگرایی و تعیین CRR



سرعت موج برشی در تعیین امکان روانگرایی و تعیین CRR



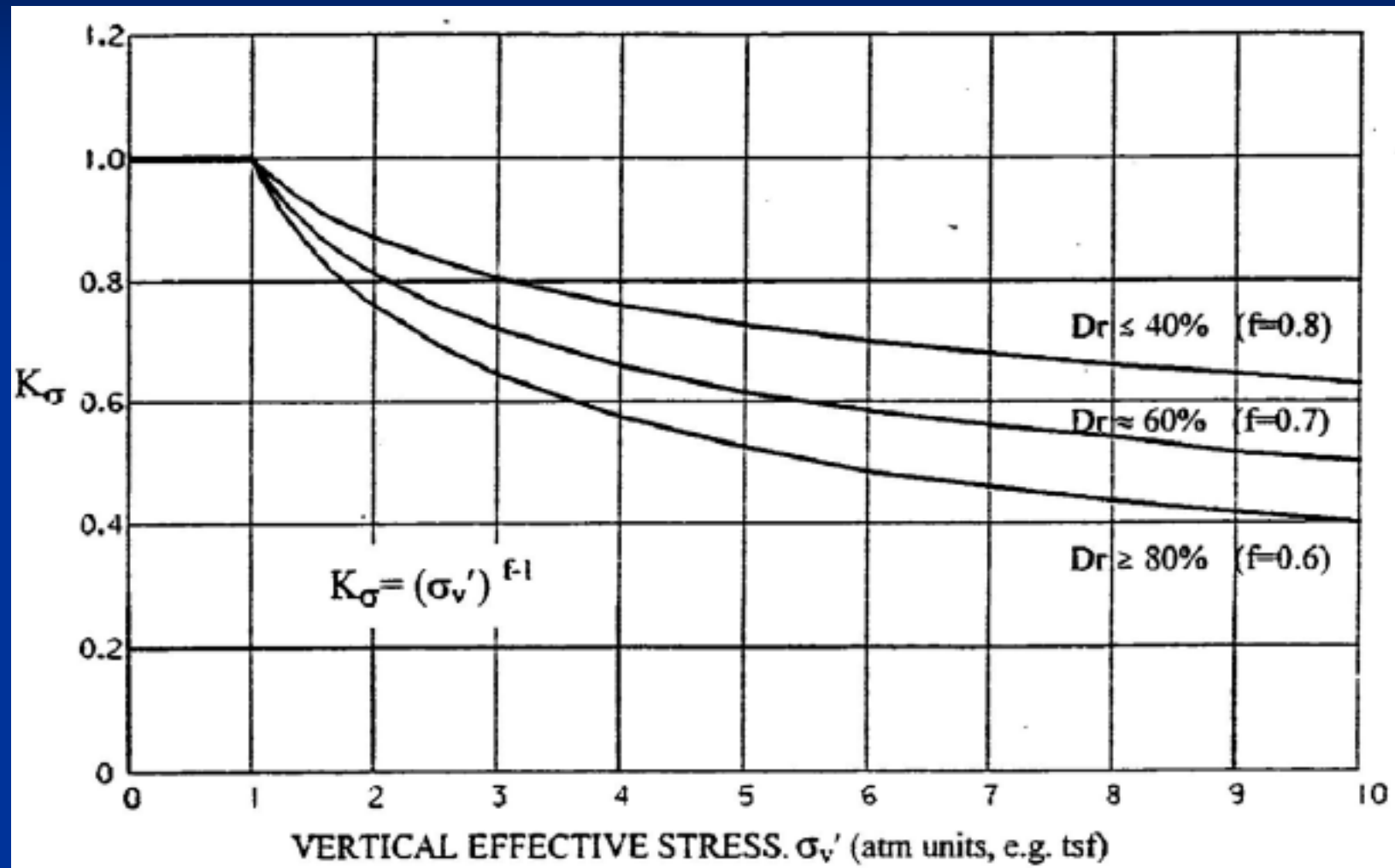
۶- اصلاح CRR

برای فشار سربار متفاوت از ۱۰۰ kPa و بزرگی متفاوت از ۷/۵

$$(CRR)_{(\sigma'v_0)} = (CRR)_{(\sigma'v_0)=1} \times K_{\sigma}$$

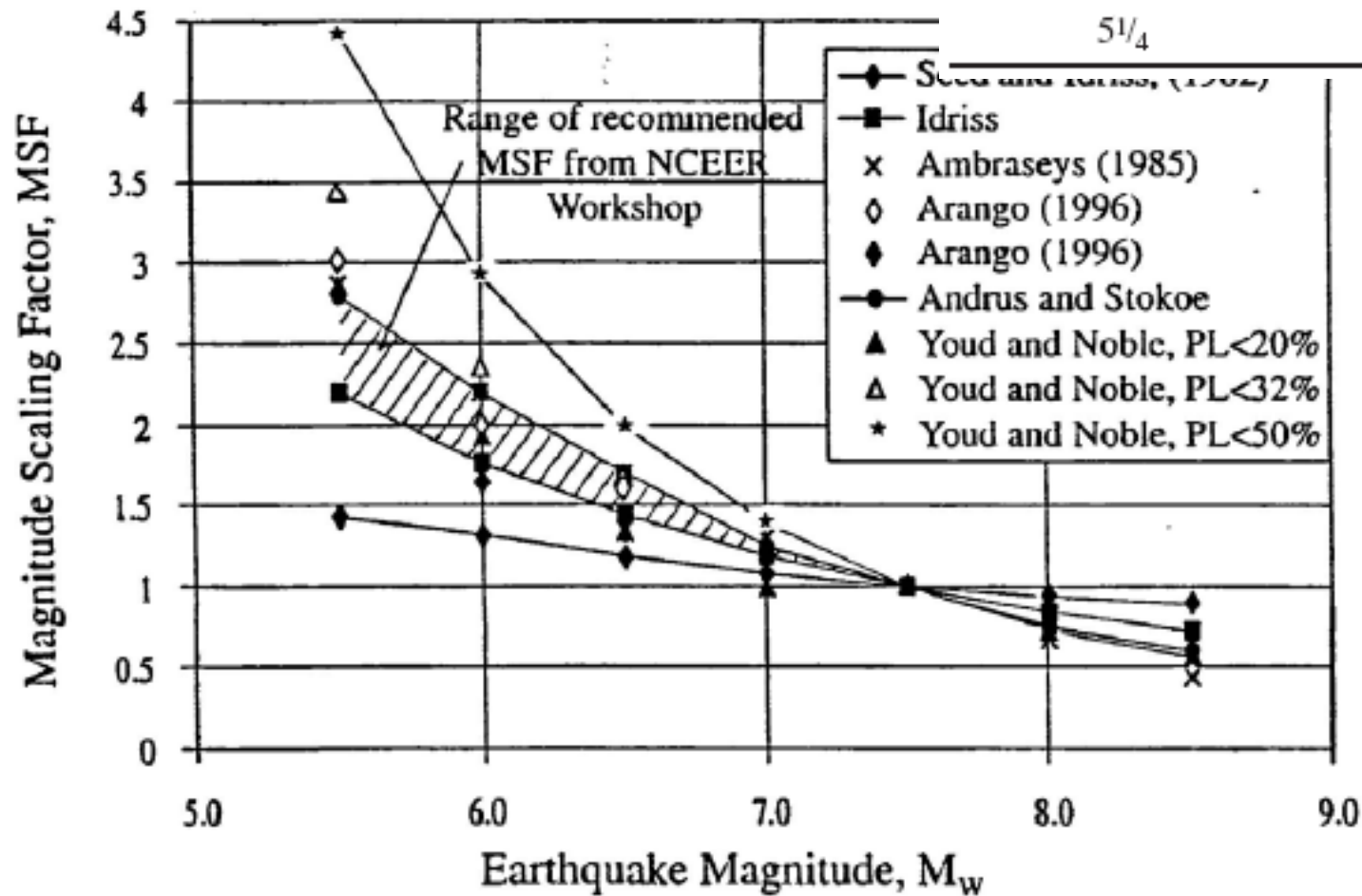
$$(CRR)_{M<7.5} = (CRR)_{M=7.5} \times MSF$$

اصلاح سربار



اصلاح بزرگی زلزله

Anticipated earthquake magnitude	Magnitude scaling factor (MSF)
$8\frac{1}{2}$	0.89
$7\frac{1}{2}$	1.00
$6\frac{3}{4}$	1.13
6	1.32
$5\frac{1}{4}$	1.50



ضریب اطمینان در برابر روانگرایی

$$FS_{LIQ'N} = CRR/CSR$$

Consequences of Liquefaction	$(N_1)_{60cs}$	Factor of Safety
Settlement	≤ 15	1.1
	≥ 30	1.0
Surface Manifestations	≤ 15	1.2
	≥ 30	1.0
Lateral Spread	≤ 15	1.3
	≥ 30	1.0

روانگرایی خاک های ریز دانه پلاستیک

براساس بیشتر تحقیقات تجربی و مطالعات میدانی بعد از وقوع زلزله بیشتر خاک های ریزدانه در حین زلزله روانگرا نمی شوند. خاک های چسبنده مستعد به روانگرایی می باشند که مشخصات زیر را داشته باشند (seed et al., 1983):

■ کمتر از ۱۵ درصد ریزتر از 0.075 میلیمتر داشته باشد. این شرط مورد مناقشه است.

■ $LL < 35$

■ رطوبت آن بیشتر از ۹۰٪ حد روانی باشد

بنابراین رس ها و لای هایی که دارای پلاستیسیته پائین باشند (مثل ML , CL) با رطوبت طبیعی بالا مستعد به روانگرایی هستند.

چنین خاک هایی حتی اگر در اثر زلزله روانگرا نشوند این احتمال وجود دارد که مقاومت برشی زهکشی نشده آنها در اثر زلزله کاهش چشمگیری نشان دهد.

■ می توان نتیجه گرفت که ماسه اشباع در زلزله با بزرگی ۷ روانگرا می شود.

● REMEDIATION

HOW CAN LIQUIFACTION HAZARDS BE
REDUCED?

- Avoid Liquefaction Susceptible Soils
- Build Liquefaction Resistant Structures
- Improve the Soil

Avoid Liquefaction Susceptible Soils

■ historical Criteria

- Soils that have liquefied in the past can liquefy again in future earthquakes.

■ Geological Criteria

Saturated soil deposits that have been created by sedimentation in rivers and lakes deposition of debris or eroded material or deposits formed by wind action can be very liquefaction susceptible.

- Man-made soil deposits, particularly those created by the process of hydraulic filling

■ **Compositional Criteria**

- D10 sizes ranging from 0.05 to 1.0 mm AND a coefficient of uniformity ranging from 2 to 10.
- Uniformly graded soil deposits
 - Angularity of particles

Silty soils are susceptible to liquefaction if they satisfy the criteria given below.

- Fraction finer than 0.005 mm $\leq$ 15%
- Liquid Limit, LL $\leq$ 35%
- Natural water content $\geq$ 0.9 LL
- Liquidity Index $\leq$ 0.75

State Criteria

- Relative density, D_r
- Increasing confining pressure

HOW CAN LIQUIFICATION
HAZARDS BE REDUCED?

**Build Liquefaction Resistant
Structures**

کم کردن خطر روانگرایی از طریق طراحی صحیح سازه ای

در طراحی هر سازه برای مقاومت در مقابل روان شدن خاک می بایست تغییر شکل های خاک را که در حین روان شدن آن رخ می دهد ، در نظر گرفت . این مطالب در طراحی پی ساختمان تاثیر چشمگیری دارد .

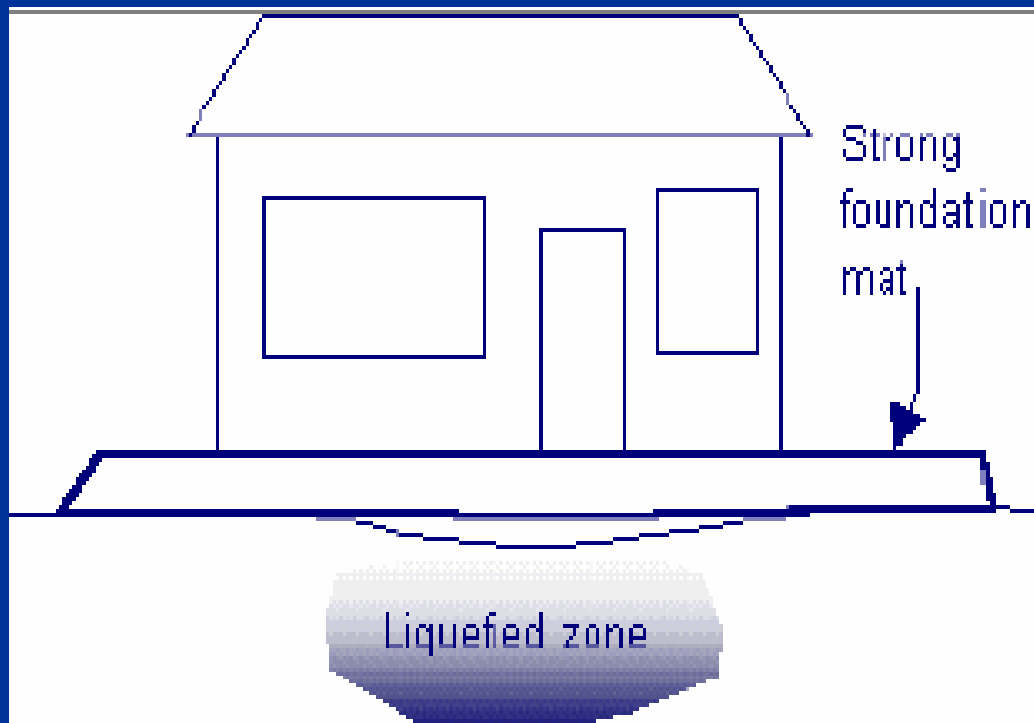
طراحی برای مقاومت در برابر روان شدن با استفاده از شمع ها یا ستون هایی صورت می پذیرد، که در زیر لایه های خاکی که به طور بالقوه امکان روان شدن دارند ، قرار می گیرند و به خاک یا سنگی که تکیه گاه محسوب می شود، متکی هستند.

همچنین به سبب از بین رفتن بخش عمده توانایی در انتقال نیروهای افقی به خاکهای روان شده ، ممکن است به طرح خاصی برای نیروهای جانبی یا برش پایه نیاز باشد ؛ این طرح ممکن است شامل استفاده از شمع های مایل یا طراحی ستون های بدون تکیه گاه که در طول نواحی روان شده قرار می گیرند ، باشد .

اجزای سیستم پی باید کاملاً خوب به همدیگر متصل شوند تا در مقابل گسترش جانبی احتمالی خاک ها مقاومت کنند. دال های کف که بر بستر زمین واقع اند، می توانند دستخوش نشست یا جابه جایی شوند و می بایست از لحاظ سازه ای مهارشوند تا آثار ناشی از روان شدن خاک به حداقل رسانده شود .

کم کردن خطر روانگرایی از طریق طراحی سازه ای

برای سازه های با نیمرخ کوتاه و توزیع جرم یکنواخت ، استفاده از پی گسترده امکان پذیراست . پی گسترده باید قادر باشد انتقال بار بین نواحی موضعی نشست و نواحی دیگر را انجام دهد بگونه ای که به یکدیگر مرتبط کند که سازه بتواند کم و بیش همانند یک جسم صلب عمل کند .



دیوار های حائل که فشار جانبی خاک را تحمل میکنند از قبیل آنهایی که در تاسیسات بندری وجود دارد، ممکن است در صورت روان شدن خاک در معرض فشارهای جانبی خاک که از حالت عادی بیشتر است قرار گیرند . فشار خاک در این حالت بمراتب از حالت سکون و اکتیو بیشتر است و برابر فشار سیالی با چگالی برابر با چگالی کلی خاک است.

حتی با استفاده از یک راه حل سازه ای برای کاهش روان شدگی خاک، باز هم این خطر باقی می ماند که سازه آسیب ببیند و همواره پس از وقوع پدیدهٔ روان شدگی خاک مقداری کار ترمیمی لازم خواهد بود.

Build Liquefaction Resistant Structures

- It is important that all foundation elements in a shallow foundation are tied together to make the foundation move or settle uniformly, thus decreasing the amount of shear forces induced in the structural elements resting upon the foundation.

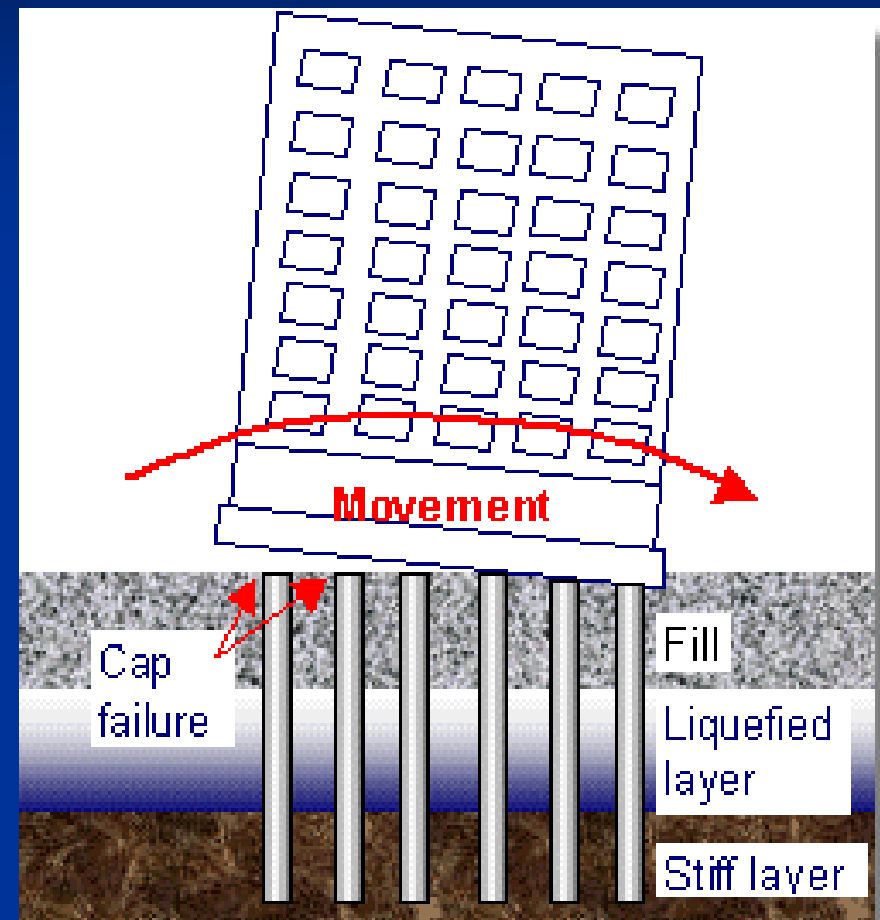
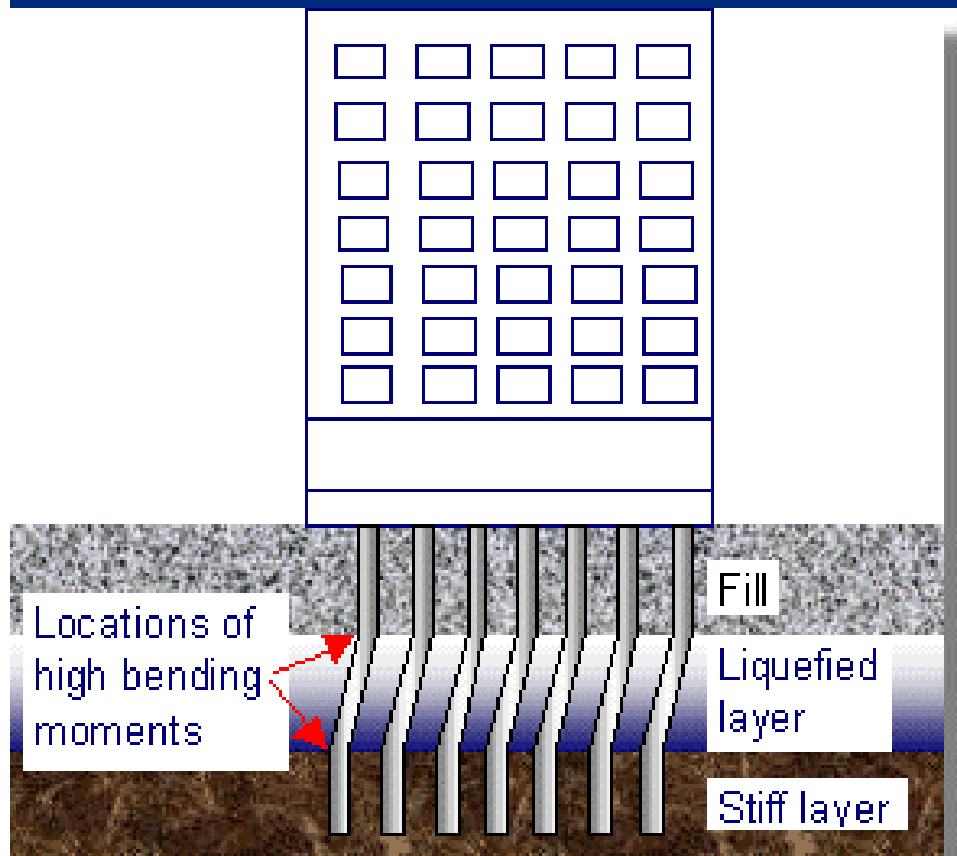


Build Liquefaction Resistant Structures

- Buried utilities, such as sewage and water pipes, should have ductile connections to the structure to accommodate the large movements and settlements that can occur due to liquefaction. The pipes in the photo connected the two buildings in a straight line before the earthquake



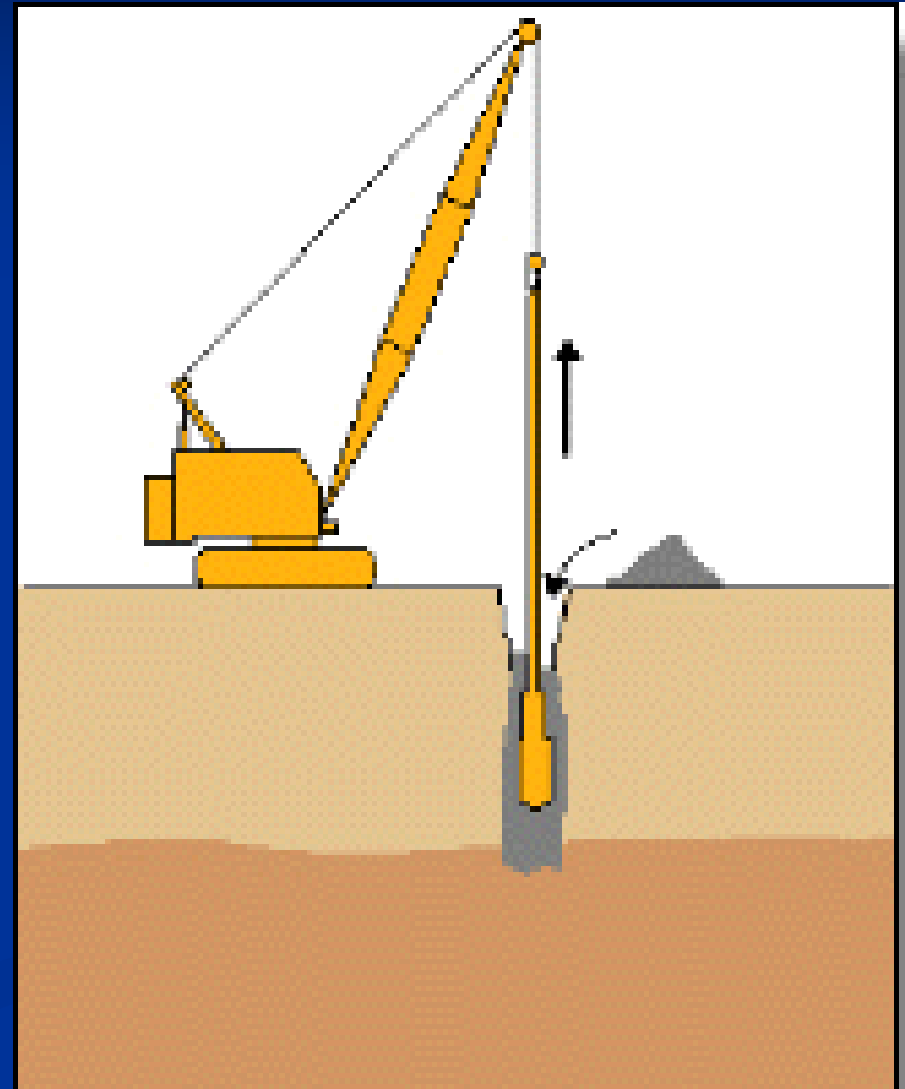
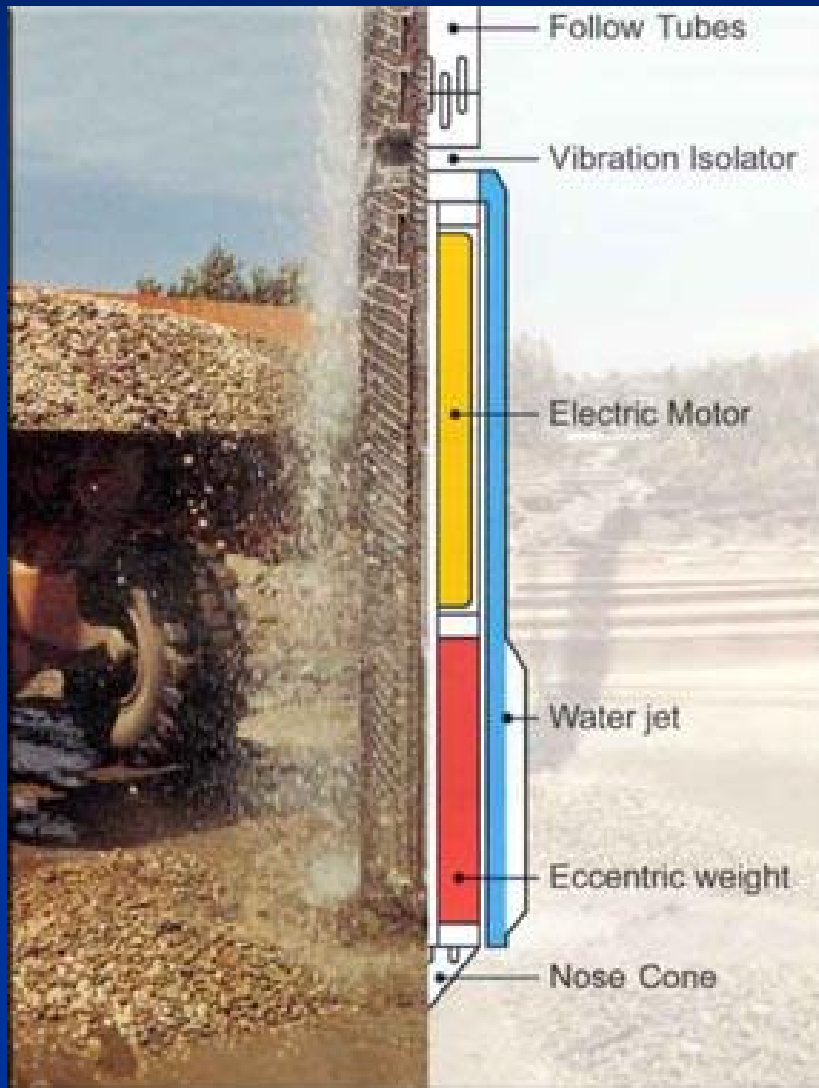
Build Liquefaction Resistant Structures



HOW CAN LIQUIFACTION HAZARDS BE REDUCED?

- Improve the Soil

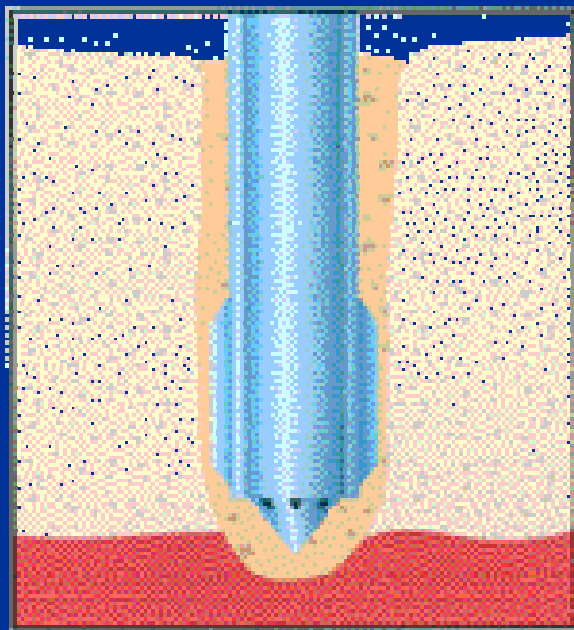
Vibroflotation



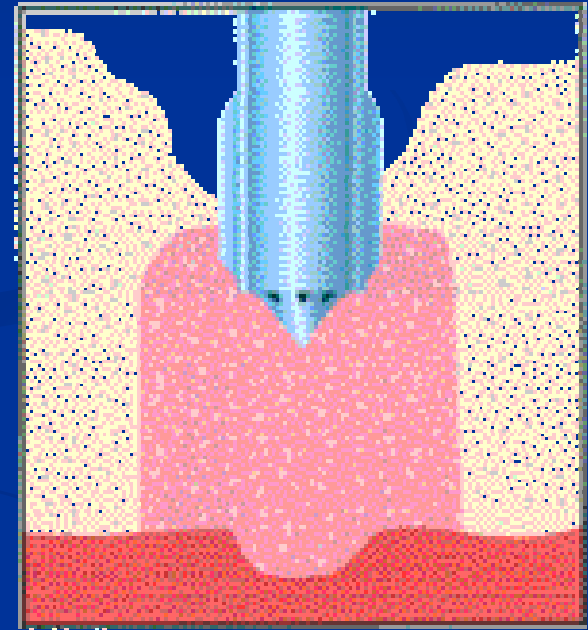
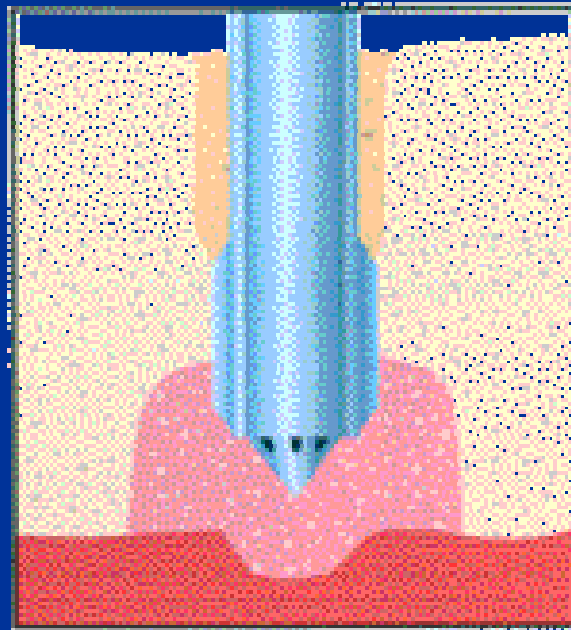
Vibroflotation

Vibrocompaction

Penetration



Compaction and Withdrawal



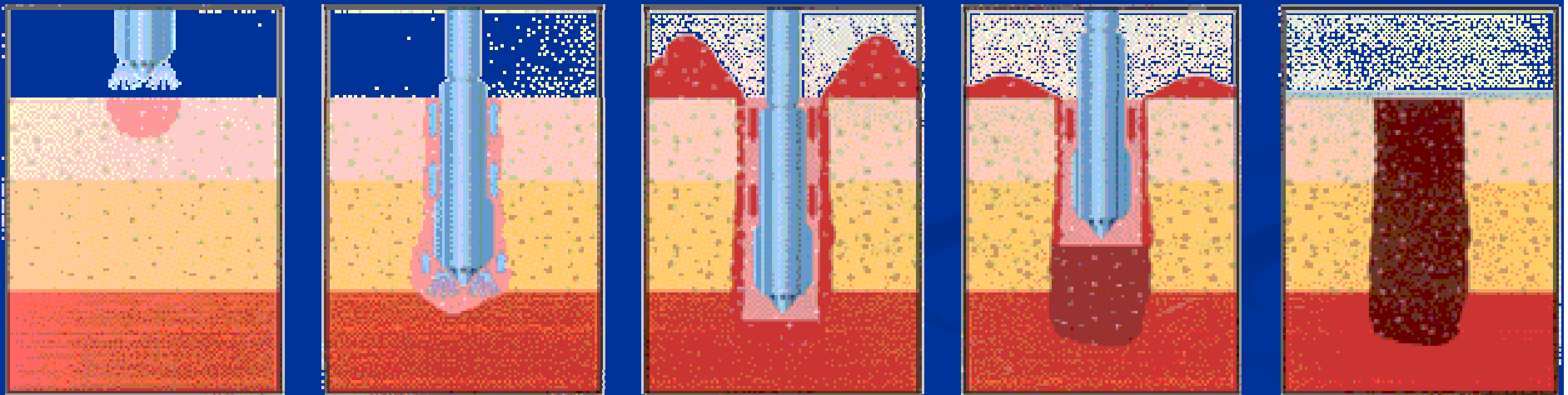
Improve the Soil

- **Dynamic
Compaction**

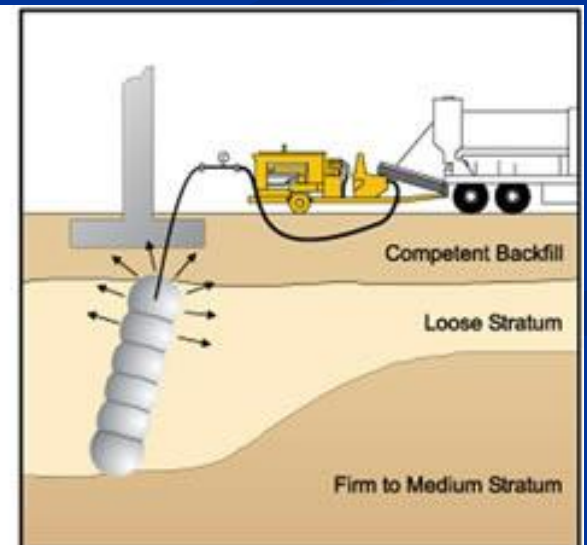
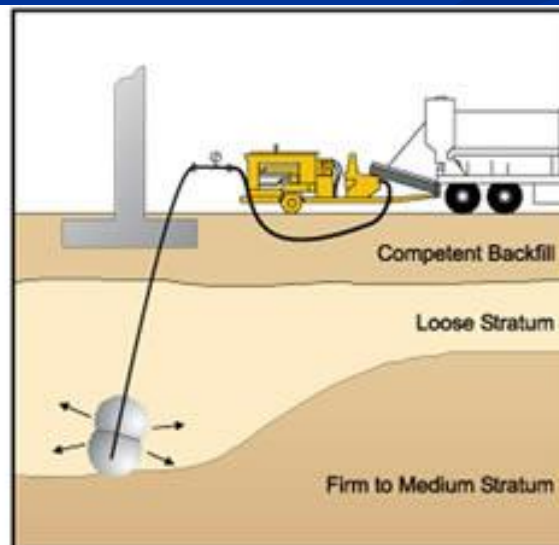
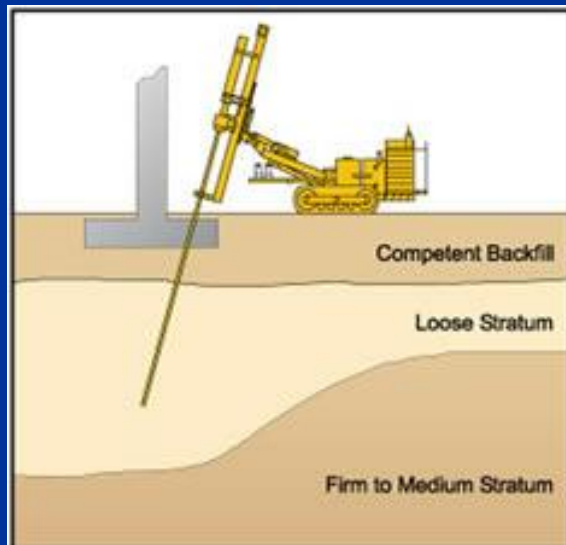


Stone Columns

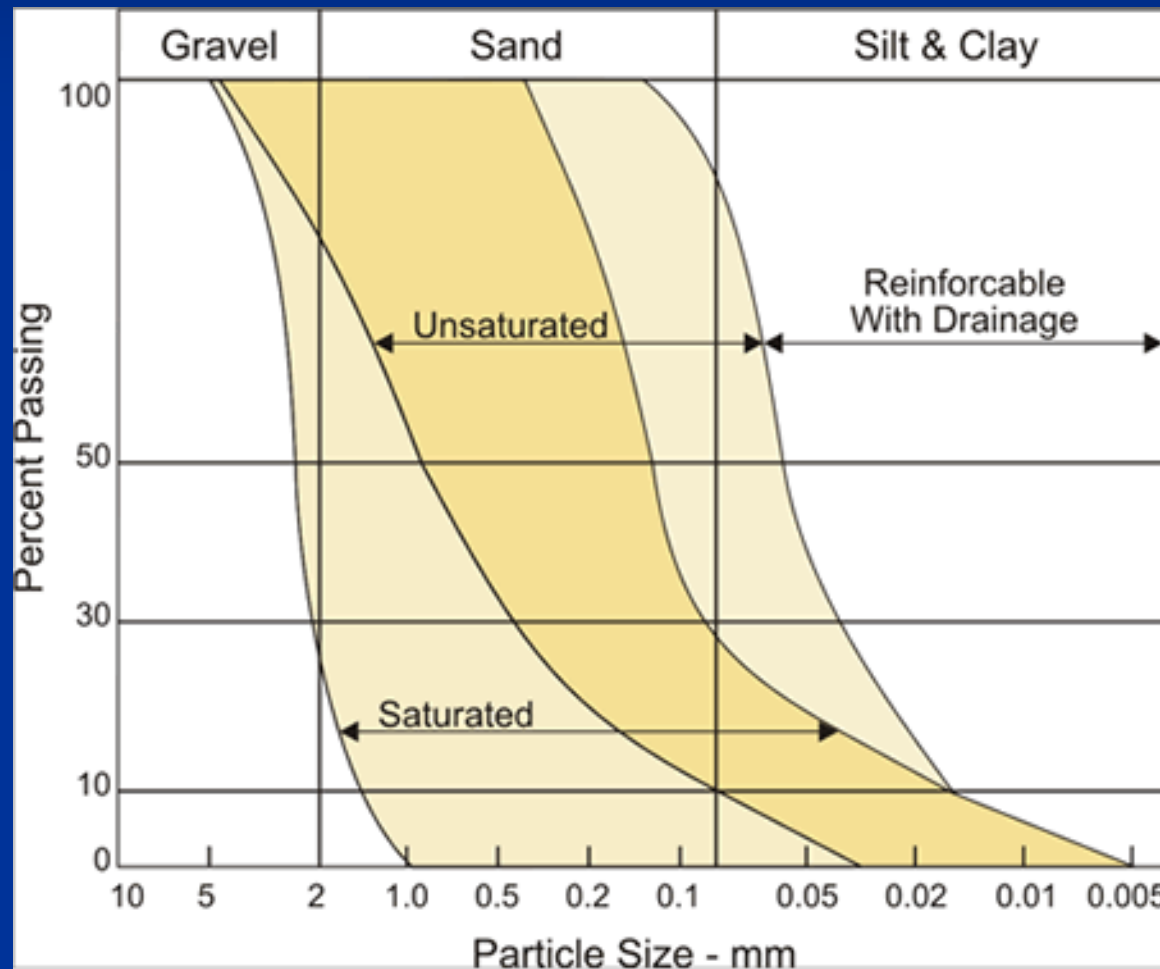
- Generally, the stone column ground improvement method is used to treat soils where fines content exceeds that acceptable for vibrocompaction



Compaction Grouting



محدوده خاک هایی که با تزریق تراکمی اصلاح میشوند.



Compaction Grouting

- Compaction grouting is a ground treatment technique that involves injection of a thick-consistency soil-cement grout under pressure into the soil mass, consolidating, and thereby densifying surrounding soils in-place. The injected grout mass occupies void space created by pressure-densification. Pump pressure, as transmitted through low-mobility grout, produces compaction by displacing soil at depth until resisted by the weight of overlying soils.

Improve the Soil

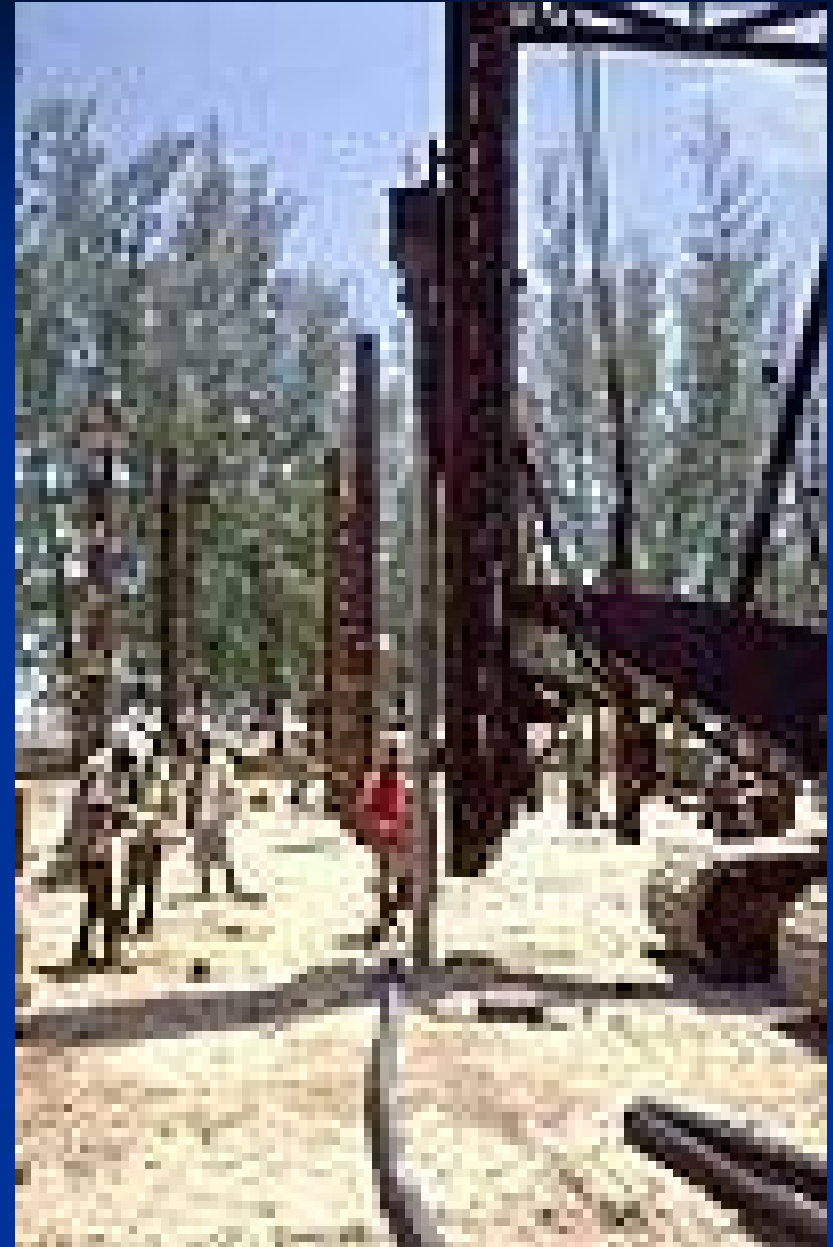
- Drainage techniques



Improve the Soil



Improve the Soil



Verification of Improvement

- A number of methods can be used to verify the effectiveness of soil improvement. In-situ techniques are popular because of the limitations of many laboratory techniques. Usually, in-situ test are performed to evaluate the liquefaction potential of a soil deposit before the improvement was attempted. With the knowledge of the existing ground characteristics, one can then specify a necessary level of improvement in terms of insitu test parameters.

راه های مقابله با روانگرایی

اگر روان شدگی به عنوان یک خطر شناسایی شود ، راه هایی وجود دارد که می بایست آنها را به کار بست. اهم این راهکار ها عبارتند از:

الف) افزایش ظرفیت (مثلا افزایش دانسیته، چسباندن ذرات خاک به یکدیگر)

ب) کاهش دیمانند (مثلا تسلیح خاک یا افزایش امکان زهکشی)

کم کردن خطر روان شدگی از طریق اصلاح خاک

۱. خاکبرداری و عوض کردن خاکهای مستعد روان شدگی

- الف. خاکبرداری و تراکم خاک موجود.
- ب. خاکبرداری و تراکم خاک پس از اختلاط با مواد افزودنی
- ج. برداشتن خاکهای موجود و جایگزین کردن آن با خاکهای روان نشو که بطور مناسب متراکم شده اند.

۲. متراکم سازی خاکهای درجا

الف) تزریق تراکمی

ب) تزریق جت

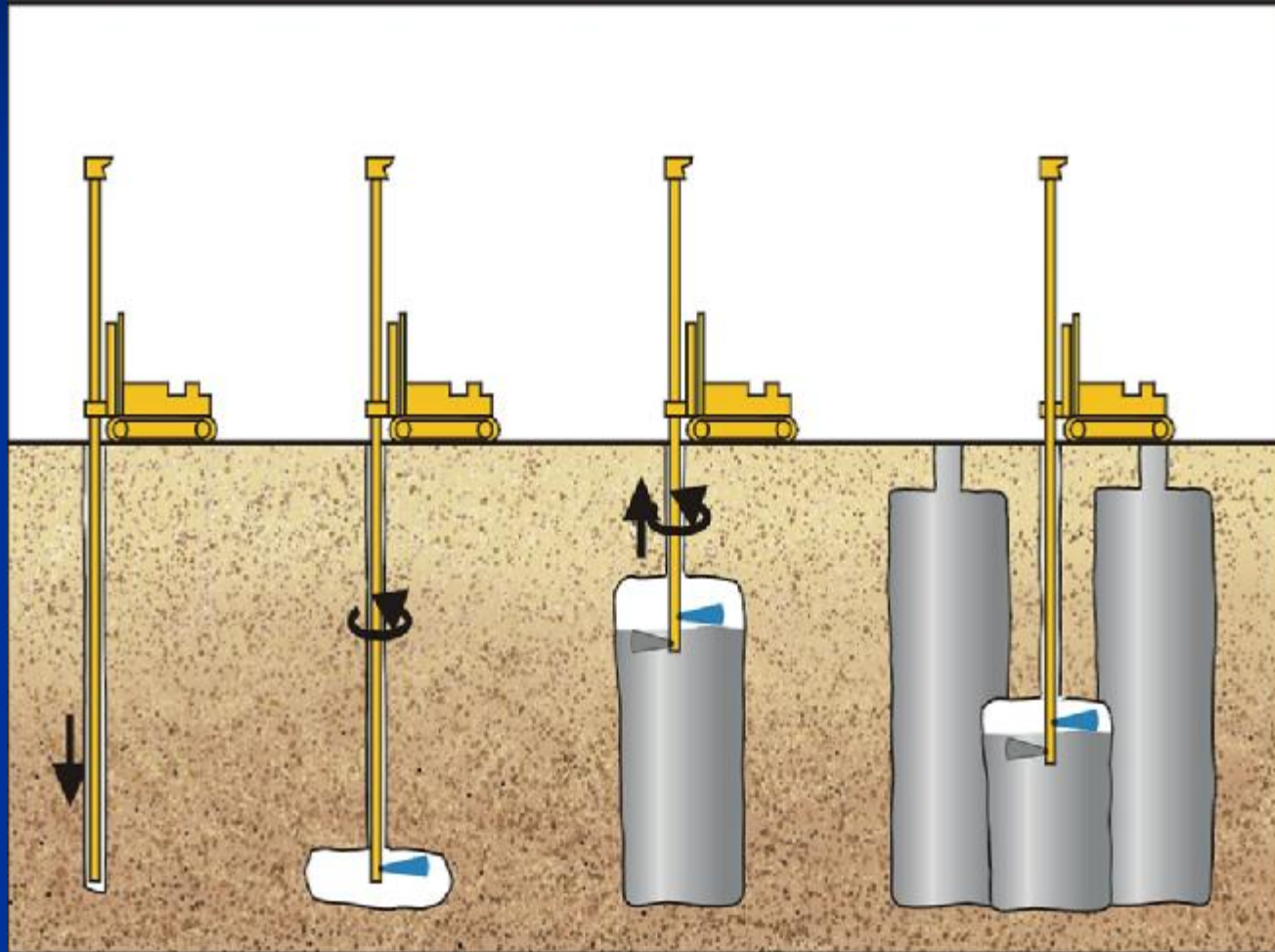
ج) تراکم ارتعاشی

د) تعویض خاک با ارتعاش

ه) تراکم دینامیکی

و)

تزریق جت



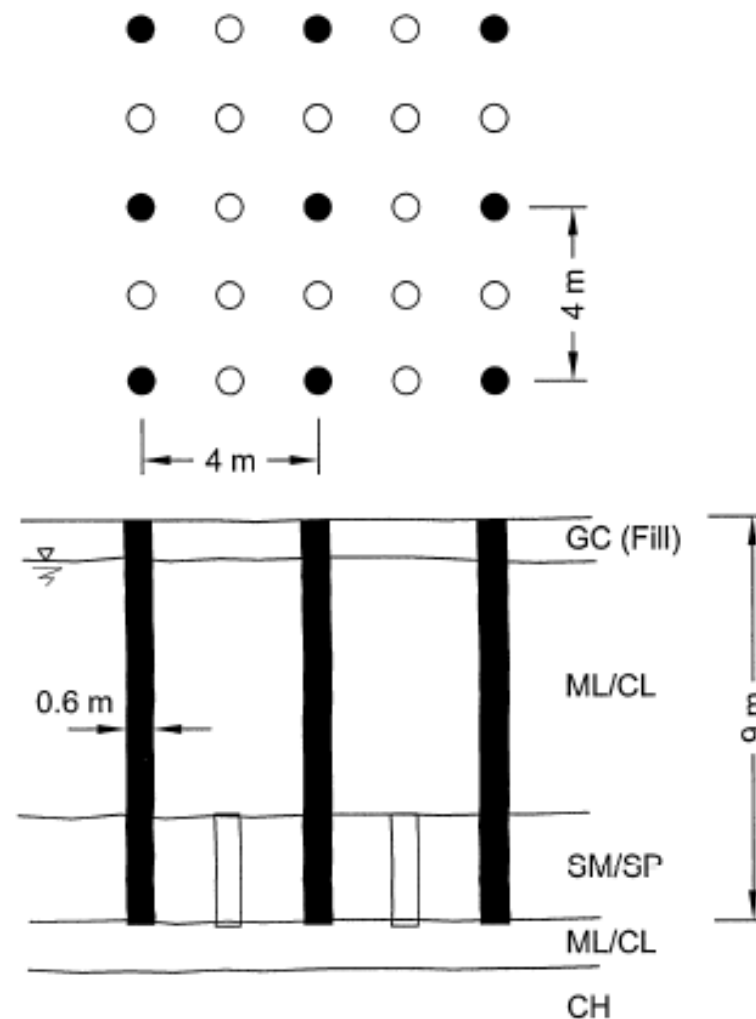
ماشين جت تزريق



Photo courtesy: T. Durgunoglu,
Zetas, Inc.

Jet Grouting for Liquefaction Mitigation

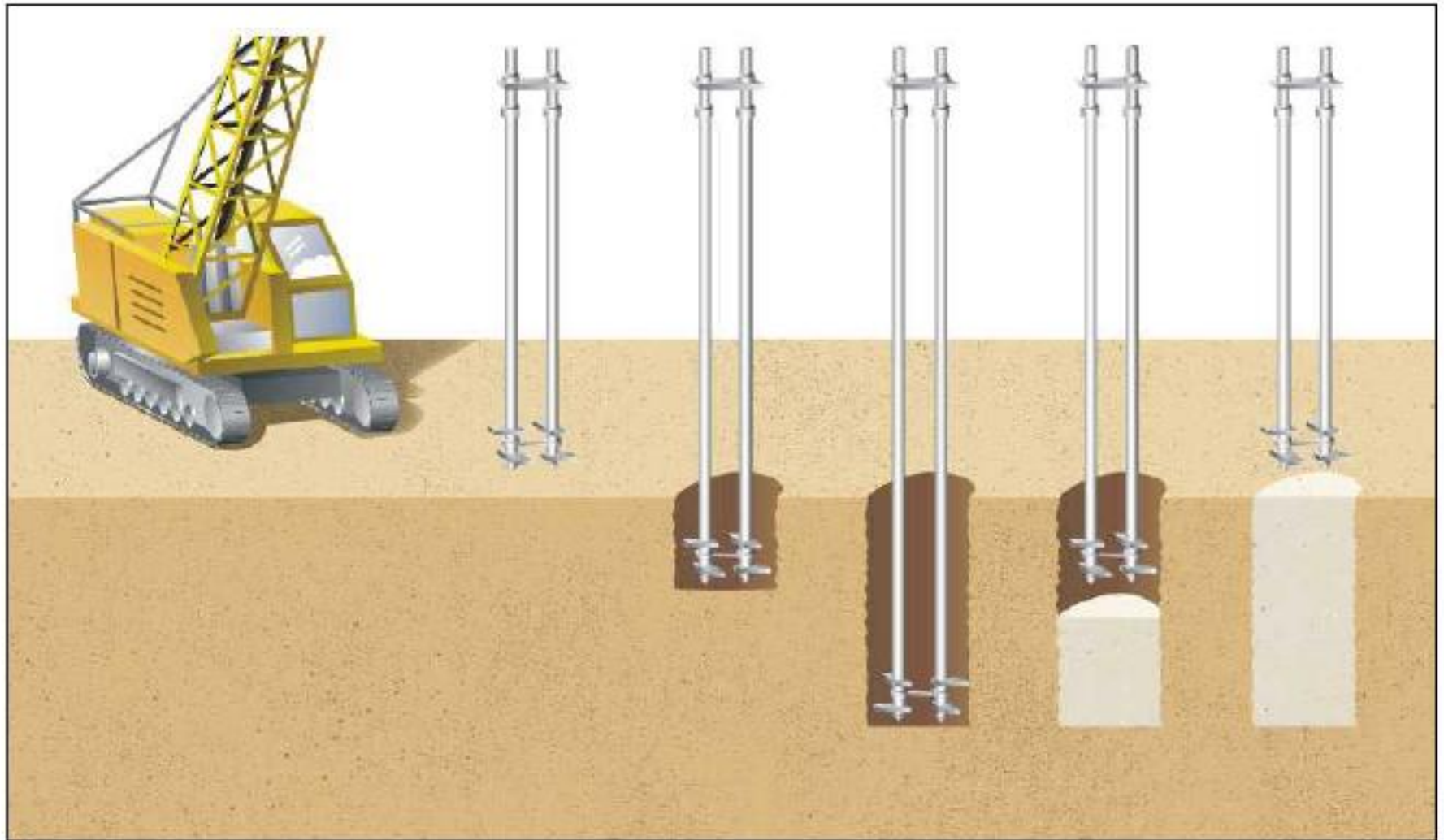
- Primary grid - full length jet-grout columns ($L = 9$ m)
- Secondary grid - truncated jet-grout columns within the sand layer ($L = 2.5$ m)



Excavated Jet-Grout Columns



Deep Soil Mixing

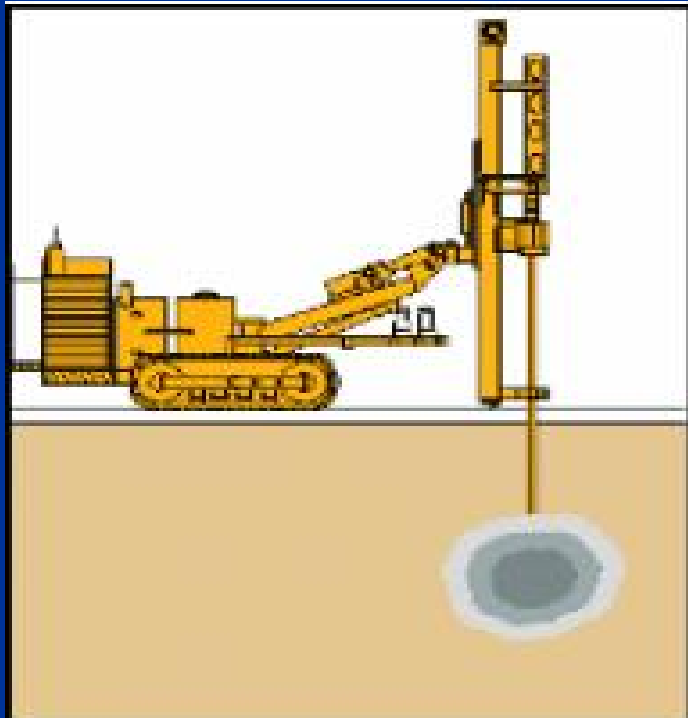


Deep Soil Mixing



۳. تثبیت شیمیایی

این روشها مقاومت برشی خاکها را با تزریق مواد ذره‌ای ، رزین‌ها، یا مواد شیمیایی به درون حفره‌ها بهبود می‌بخشند.



کاهش خطر روان شدگی با انجام زهکشی

ممکن است سیستم های پایین آورنده سطح آب ، با برداشتن آب از لایه هایی که می توانند روان شوند ، امکان بالقوه ایجاد روان شدگی را کاهش دهند . همچنین افزایش فشار سربار موثر به مقاومت خاک در مقابل روان شدگی خواهد افزود . اگر پایین آمدن کلی سطح آب يك منطقه عملی نباشد ، فراهم آوردن برخی راههای زهکشی مشکل را تخفیف خواهد داد .

زهکشی از بین رفتن سریع فشار منفذی اضافی را در لایه های خاکی که امکان بالقوة روان شدگی را دارند ، امکان پذیر می کند . اگر فشارهای منفذی بتواند سریعاً برطرف شود ، تنشهای موثر به مقدار چشمگیری کاهش نخواهند یافت و خاک بخش عمده مقاومت برشی خود را حفظ خواهد کرد ، ونمی گذارد روان شدگی رخ دهد. زهکشیهای شنی قائم که بصورت يك طرح شبکه ای نصب می شوند نیز قادر به انجام این کار هستند . در روش تعویض ارتعاشی از این اصل استفاده می شود زیرا ستونهای سنگی ساخته شده از مصالح درشت دانه در مقایسه با خاکهای اطراف بسیار تراوایند .