In the name of god

Modes of Pile Failure in Liquefiable Soils

مدهای گسیختگی شمع در خاک های روانگرا

پژوهش و نگارش:

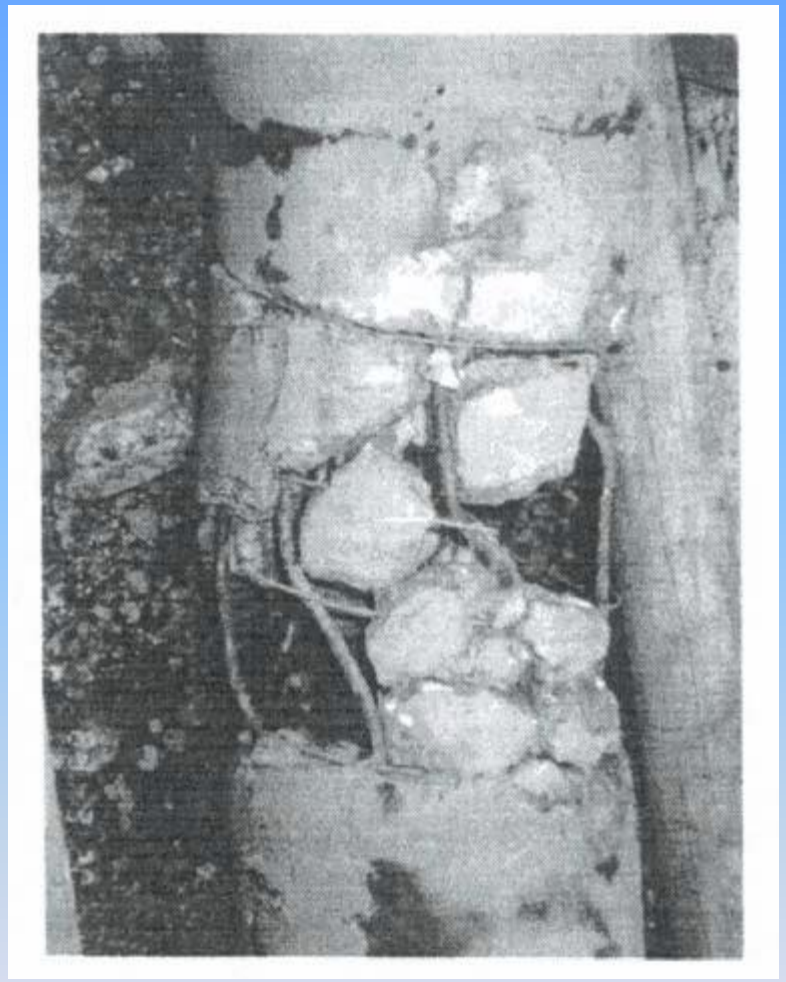
سید قاسم احسانی

کارشناس ارشد عمران ژئوتکنیک

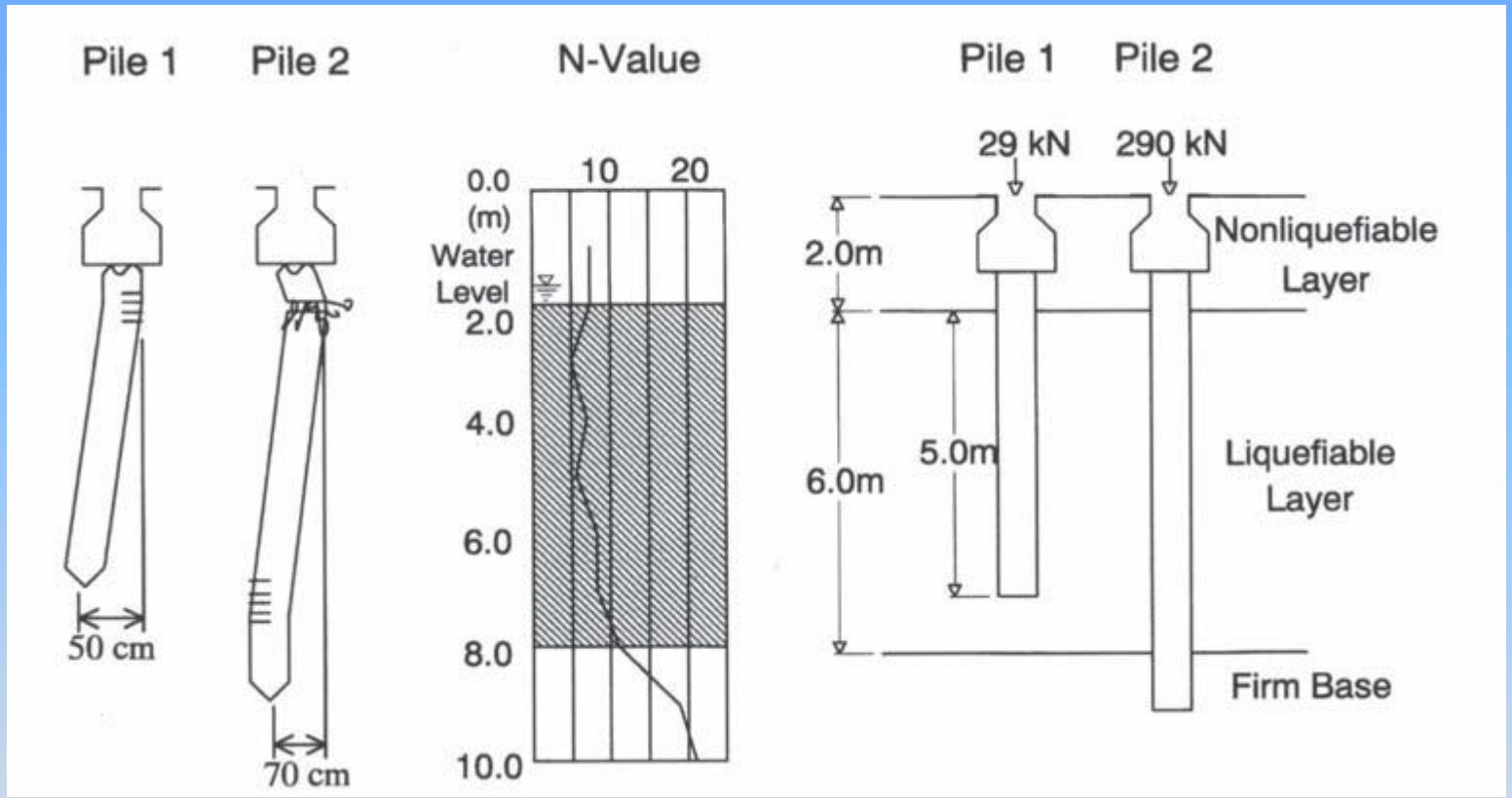
Ghasem.ehsani@yahoo.com

مقدمه

- اثرات روانگرایی روی فونداسیون عمیق بسیار مخرب و پر هزینه می‌باشد. تغییر شکل های دائمی و جانبی زمین یا گسترش جانبی، چه به صورت تنهایی و چه به صورت ترکیب با نیروهای اینرسی روسازه و گشتاورهای به وجود آمده در طول تکان تأثیر روی خاکی که قبلاً با افزایش فشار آب منفذی ضعیف شده، یک منبع مهم خطر و نگرانی محسوب می شود.
- بسیاری از خرابی شمع‌ها نیز در طول زمین لرزه‌های نیگاتا (۱۹۶۴) و هایوگوکن نامبوا (۱۹۹۵) در زمین‌های روانگرا دیده شد.



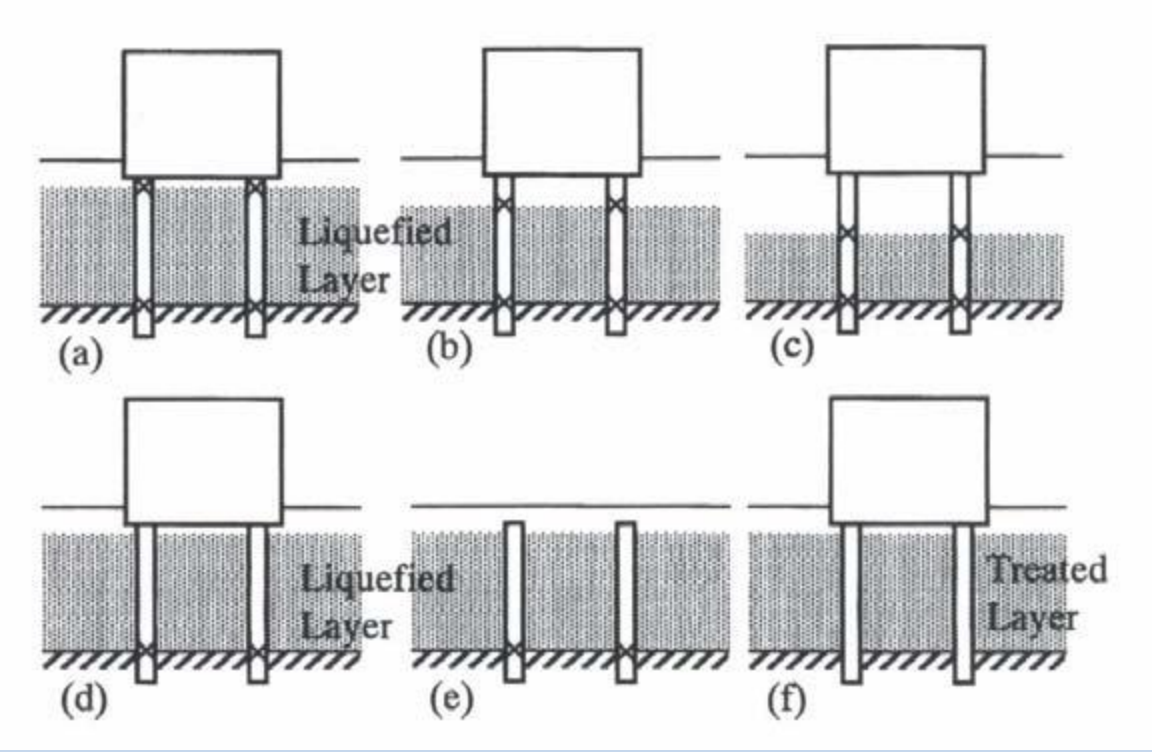
خرابی پلی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا با تغییر مکان ۲ متری زمین



خرابی شمع اصطکاکی و اتکایی و عدد نفوذ استاندارد در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا

نشست آپارتمانها بعلت روانگرا شدن خاک زیر پی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا

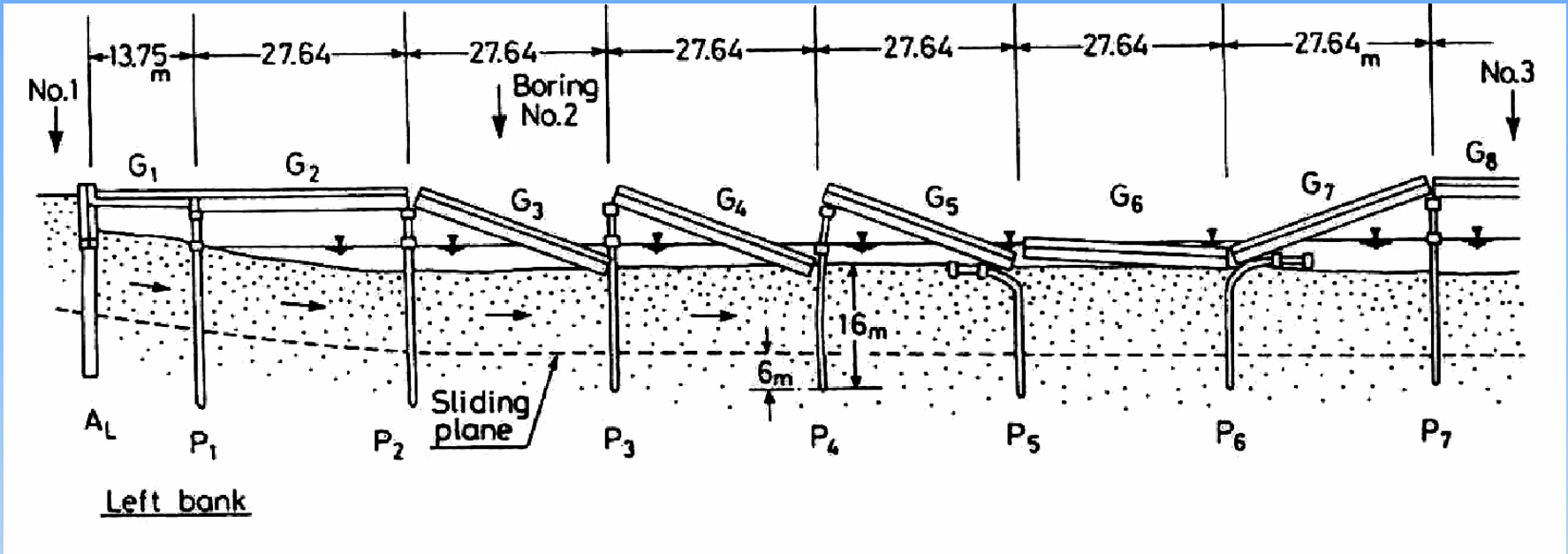
برش شمع بوسیله تغییر مکان زمین در زلزله ۱۹۹۵ کوبه



خرابی های رایج سازه هایی روی فونداسیون شمعی در زلزله ۱۹۹۵ کوبه

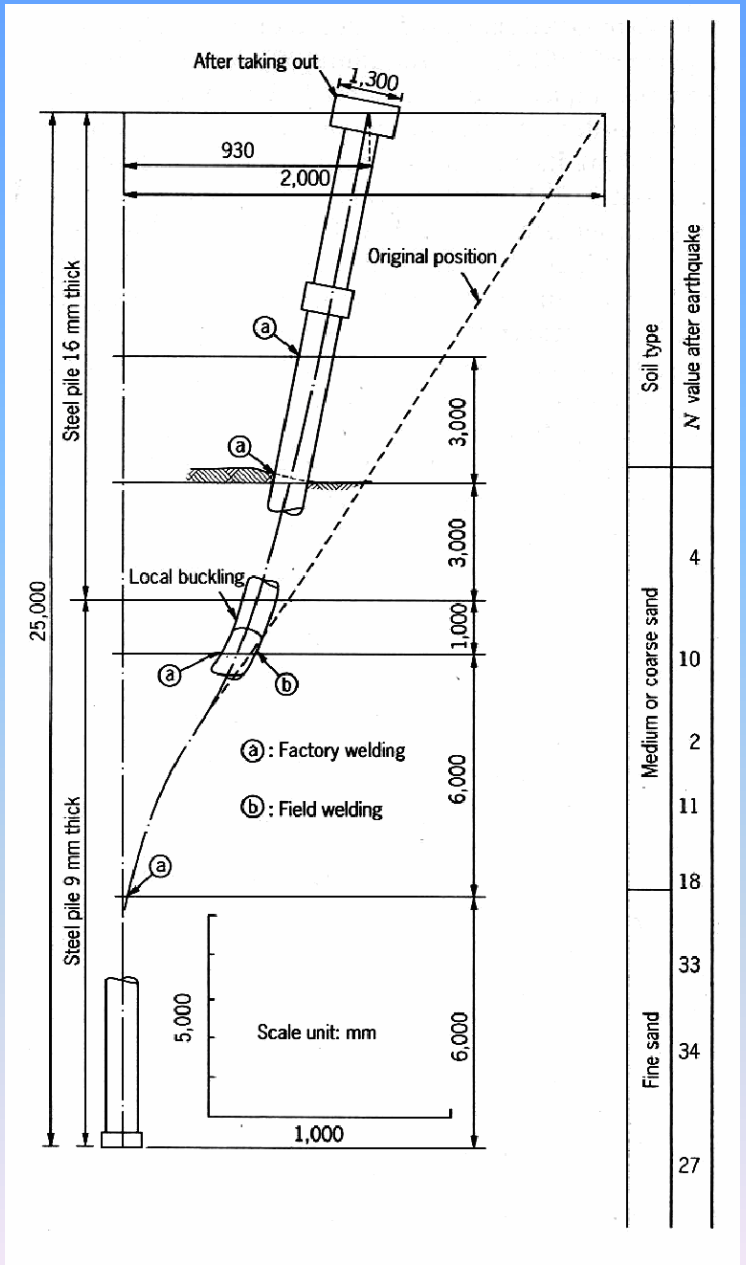
Showa bridge failure

A view of the collapsed Showa bridge (Photo by V V Bertero) Courtesy of National Information Service for Earthquake Engineering EERC, University of California, Berkeley.



Schematic diagram showing the fallen decks of the Showa bridge. (Takata *et al.*,1965)

Pile extracted from P4 location during post earthquake evaluation. (Fukuoka,1966)



رفتار سیستم روسازه ـ شمع ـ خاک در زمین روانگرا می‌تواند به سه فاز تقسیم شود:

- حالت قبل از تولید فشار آب منفذی اضافی
- حالت موقتی روانگرایی
- حالت بعد از روانگرایی

- در اولین مرحله، حالت قبل از تولید فشار آب منفذی اضافی ، نیروی لختی مربوط به سازه، فاکتور اصلی به حساب می‌آید. جابه‌جایی زیاد ممکن است بعد از روانگرایی ناشی از جریان روانگرایی به‌وجود آید. اگر محل در نزدیکی محل فضای باز مثل دیوار اسکله باشد و یا اگر سطح زمین و محدودهٔ بالایی لایهٔ روانگرا شیب‌دار باشد، ممکن است آن اصلی‌ترین و مهم ترین فاکتور برای طراحی شمع به‌حساب آید .

- دومین مرحله که حالت موقتی روانگرایی است در مقایسه با دو مرحله دیگر اهمیت کمتری دارد، اما این مسئله ذکر شده به‌خاطر چندین دلیل صحیح نمی‌باشد. اگرچه رفتار غیرخطی قابل ملاحظه‌ای در زمین اتفاق می‌افتد، زمین توانایی انتشار امواج با دامنه زیاد را از دست نمی‌دهد، چون ماسه تحت برش بزرگ ناشی از رفتار اتساعی که تحرک دوره‌ای نامیده می‌شود سختی‌اش را دوباره بدست می‌آورد. بنابراین هم نیروی لختی روسازه و هم تغییر شکل زیاد زمین، فاکتورهای مهم و اصلی برای طراحی یک شمع محسوب می‌شوند. بنابراین این مرحله یک مرحلهٔ کلیدی در طراحی شمع به حساب می‌آید. به طور مثال چندین تحقیق نشان دادند که فشار دینامیکی زمین که روی دیوارهٔ زمین عمل می‌کند، قبل از شروع روانگرایی به حداکثر خود می‌رسد.
- بررسی های خرابی شمع ناشی از جریان روانگرایی نشان داد که در طول مرحله تکان شدید، خرابی قابل ملاحظه‌ای اتفاق می‌افتد.

مدهای گسیختگی شمع در خاک های روانگر\

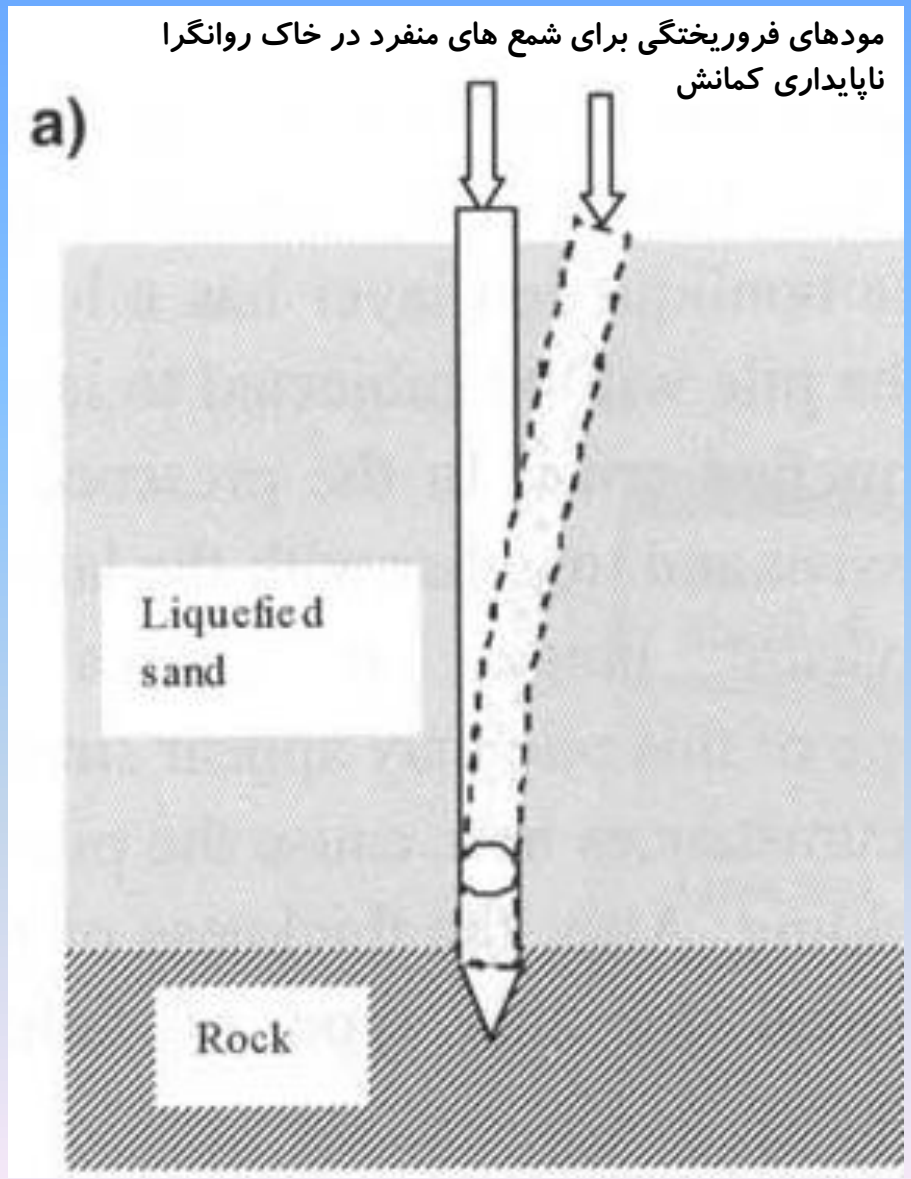
مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

- شمع های منفرد با سرشمع های کوچک بعضی اوقات برای نگهداری ستونهای تکی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می گیرند.
- در این بخش، مکانیزم های گسیختگی ممکن این چنین شمع های منفرد ناشی از روانگرایی زمین تعریف خواهند شد.
- در شرایط معین، یک ردیف از شمع‌های منفرد برای نگه‌داری پایه های پل استفاده خواهند شد. تحت این شرایط، آن شمع‌ها می توانند از مکانیزم‌های گسیختگی مشابه‌ای آسیب ببینند.

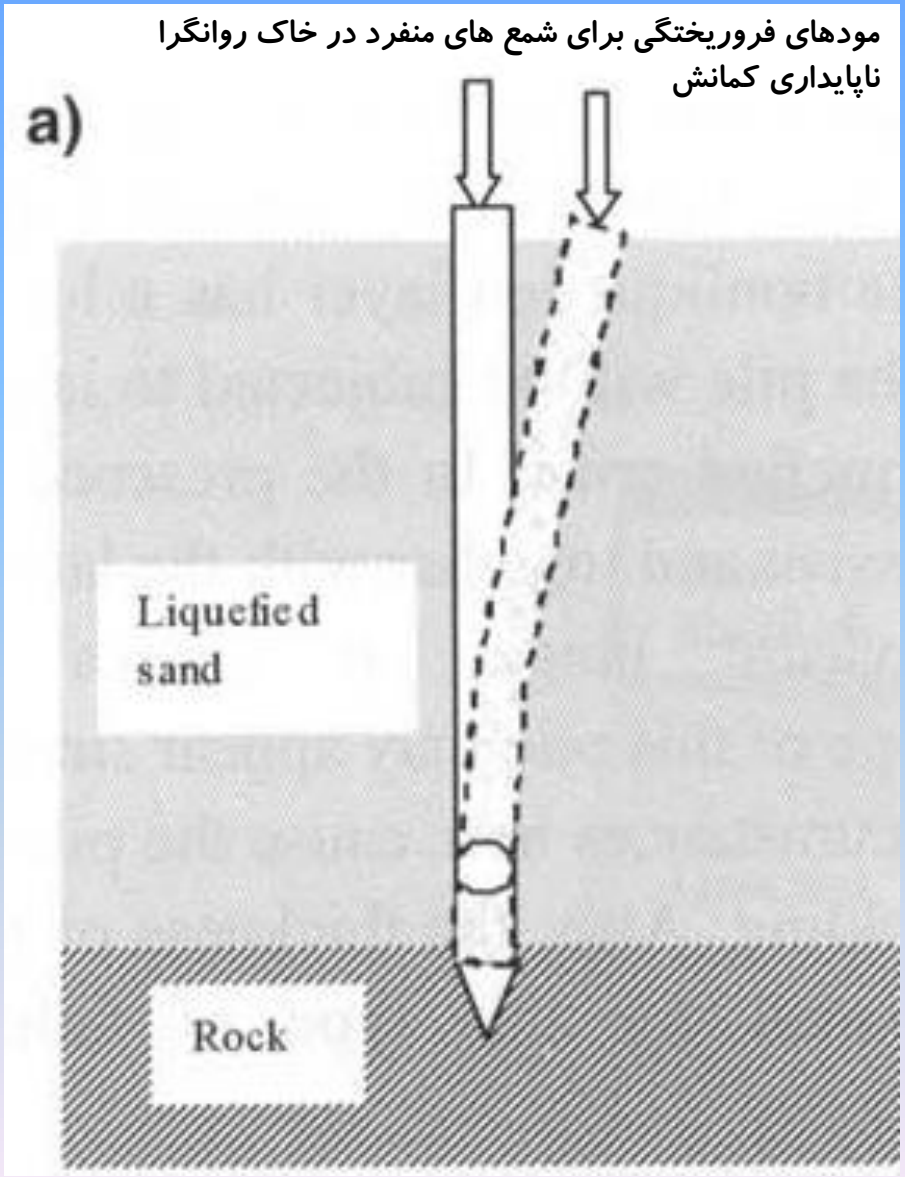
مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد



مودهای فروریختگی برای شمع های منفرد در خاک روانگرا ناپایداری کمانش

در مرحله اول، حالت شمع های منفرد در سطح زمین درنظر گرفته می شود. ۲ مکانیزم ممکن گسیختگی می تواند به راحتی از شکل مقابل تعیین شود. در شکل a، شمع منفرد حمل کننده بارهای محوری بزرگ ناشی از ساختمان فوقانی و قرار گرفته در یک لایه ماسه اشباع، روانگرای سست روی سنگ بستر معرفی می شود. زمانی که تنش های برشی سیکلیک القا شده توسط زلزله منجر به ایجاد فشار آب حفره ای اضافی درلایه ماسه می شوند، سختی این لایه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می یابد. تحت آن شرایط، اگر طول کافی بدون نگهداری شود، شمع منفرد می تواند از ناپایداری کمانشی آسیب ببیند و می تواند با شکل‌گیری یک مفصل پلاستیک گسیخته شود.

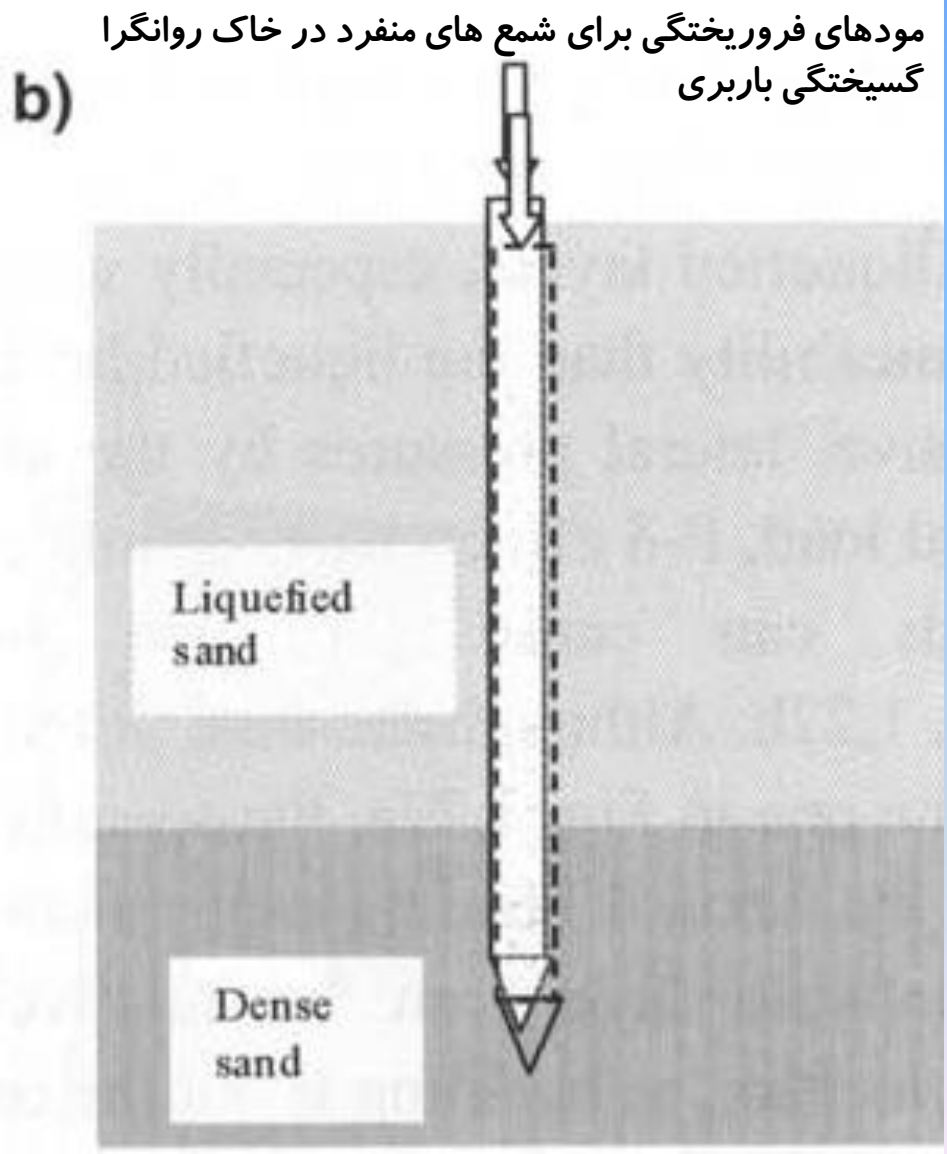
مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد



مودهای فروریختگی برای شمع های منفرد در خاک روانگرا ناپایداری کمانش

در شکل a، وضعیت اولیه شمع مانند یک خط پر ومکانیزم گسیختگی پیش بینی شده مانند خط چین نشان داده شده است فرض این موضوع معقول است که مفصل پلاستیک نزدیک به وجه مشترک لایه ماسه روانگرا و سنگ بستر همان طور که در شکل نشان داده شده ، شکل خواهد گرفت اما شواهد تجربی نشان خواهند داد که مفصل پلاستیک درواقع در بالای موقعیت نشان داده شده در شکل a شکل می گیرد که نشان می دهد که ماسه روانگرا می تواند مقاومتی در مقابل شمع کمانش یافته ایجاد کند.

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد



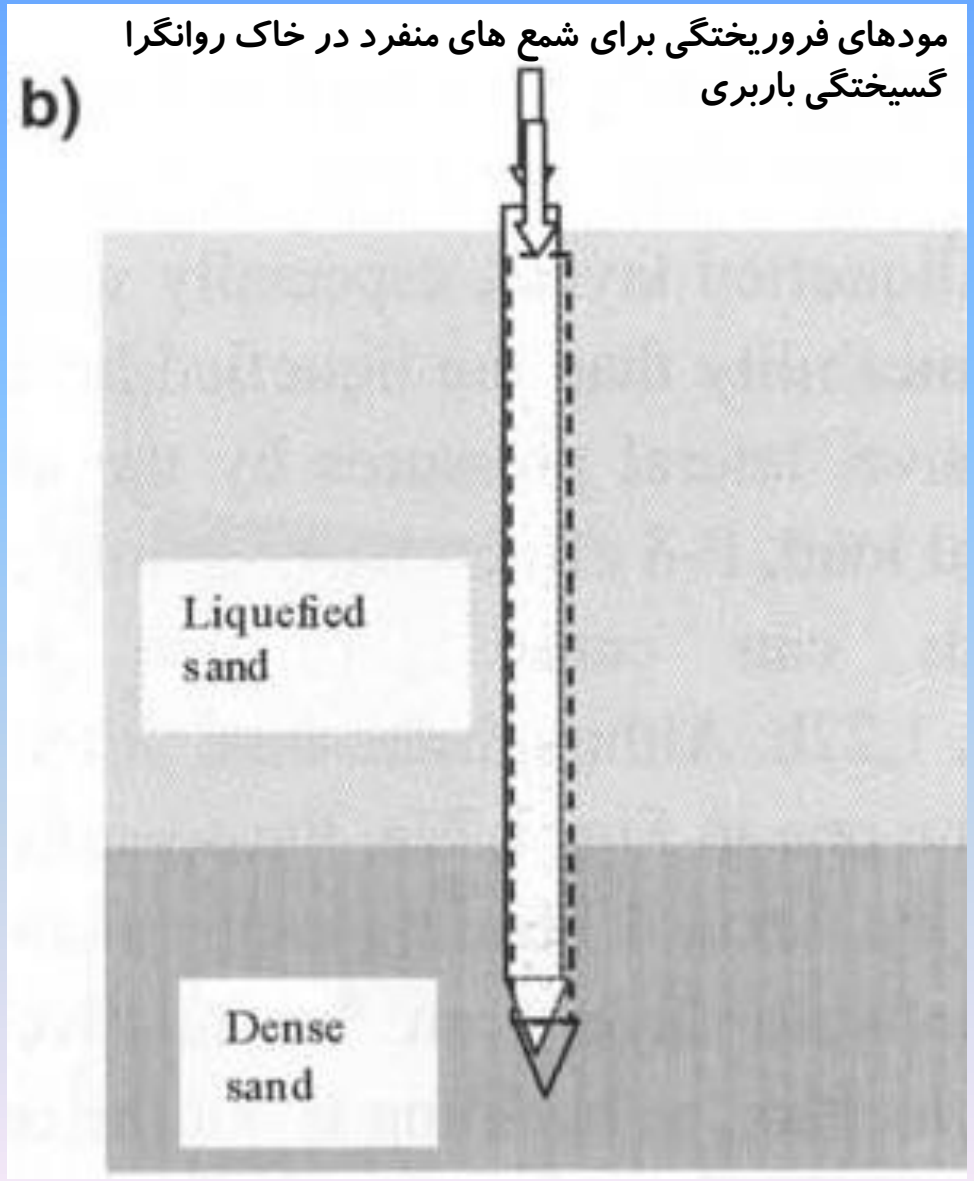
در مقایسه با این، حالتی با یک شمع منفرد که بارهای محوری بزرگ حمل می کند و از لایه اشباع سست، عبور می‌کند و در یک لایه ماسه متراکم قرار می گیرد در شکل نشان داده شده است. لایه ماسه سست افزایش قابل ملاحظه‌ای در فشار حفره‌ای اضافی و کاهش بزرگی در سختی خاک متحمل خواهد شد. اما لایه ماسه متراکم یک افزایش قابل ملاحظه‌ای در فشار آب حفره‌ای متحمل خواهد شد.

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

Coelho و همکارانش در سال ۲۰۰۳ ایجاد فشارهای حفره‌ای اضافی را در رسوبهای ماسه متراکم را گزارش کرده‌اند. به علاوه، فشار حفره‌ای اضافی ایجاد شده در لایه ماسه شل نزدیک به وجه مشترک بین لایه های ماسه شل و متراکم می تواند به لایه ماسه متراکم انتقال داده شود این شرایط منتج به موارد زیر خواهند شد:

- افت اصطکاک میله شمع
- کاهش در ظرفیت پایه شمع

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد



مودهای فروریختگی برای شمع های منفرد در خاک روانگرا
گسیختگی باربری

تحت این شرایط، فونداسیون شمعی از یک گسیختگی باربری آسیب خواهد دید و در لایه ماسه متراکم همان طور که در شکل نشان داده شده، نشست خواهد کرد.

نشست ادامه خواهد یافت تا اینکه ظرفیت پایه کافی و اصطکاک میله برای بار محوری و وزن شمع در تعادل بسیج شوند.

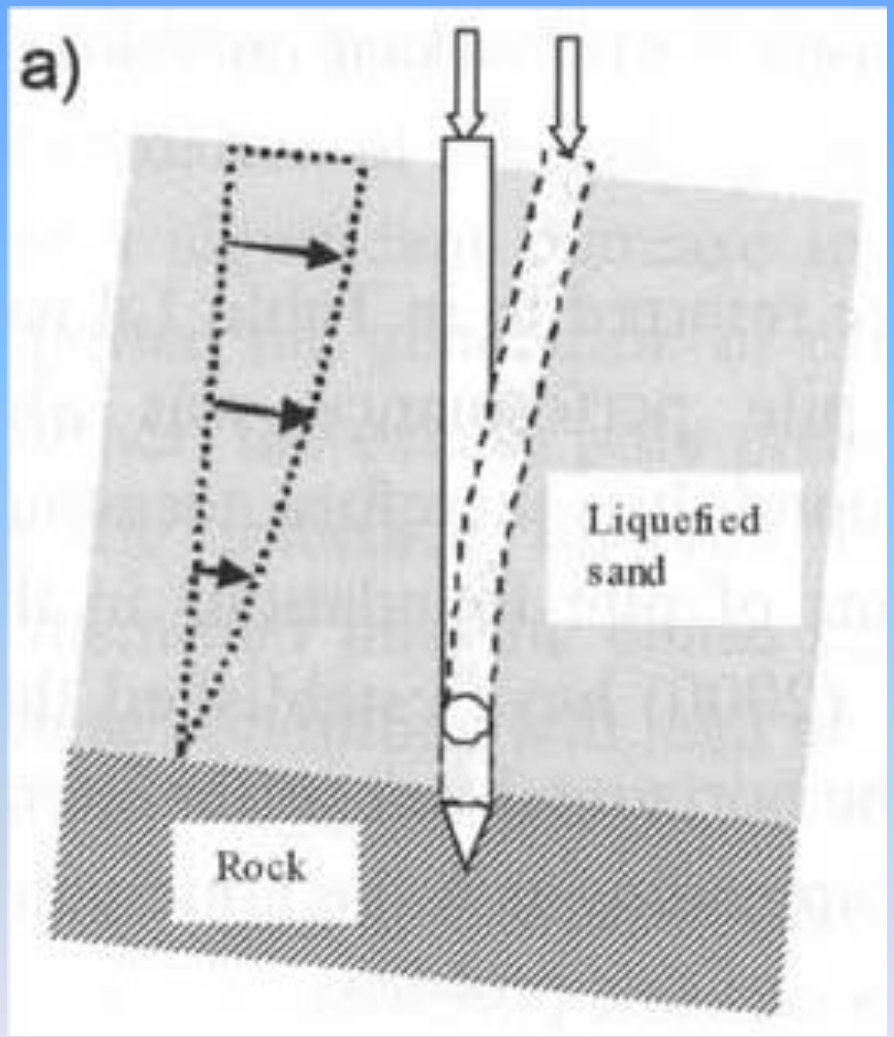
اتساع لایه ماسه متراکم فشارهای مکش بزرگی درماسه متراکم ایجاد خواهد کرد که به فرایند رسیدن به تعادل قائم درکوتاه مدت کمک می‌کند.

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

در بسیاری از حالت های کارآیی شمع، اشاره شده، عملکرد و کارایی ضعیف شمع با گسترش جانبی زمین صورت گرفته است. بنابراین، در نظر گرفتن مکانیزم‌های گسیختگی ممکن فونداسیون‌های شمعی در حضور گسترش جانبی ضروری است.

Haigh و همکارانش در سال (۲۰۰۰) تائید کرده‌اند که حتی شیب‌های ملایم با شیب 2^o یا 3^o نسبت به افق می توانند از گسترش جانبی آسیب ببینند. از این رو، حالت های صحرایی، جایی که گسترش جانبی نسبتاً بزرگ پیش بینی می شود، اهمیت این مسأله را افزایش می دهد.

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد



گسیختگی شمع‌ها تحت بارهای محوری و جانبی ترکیبی در خاک گسترش جانبی یافته
فقط ماسه روانگرا

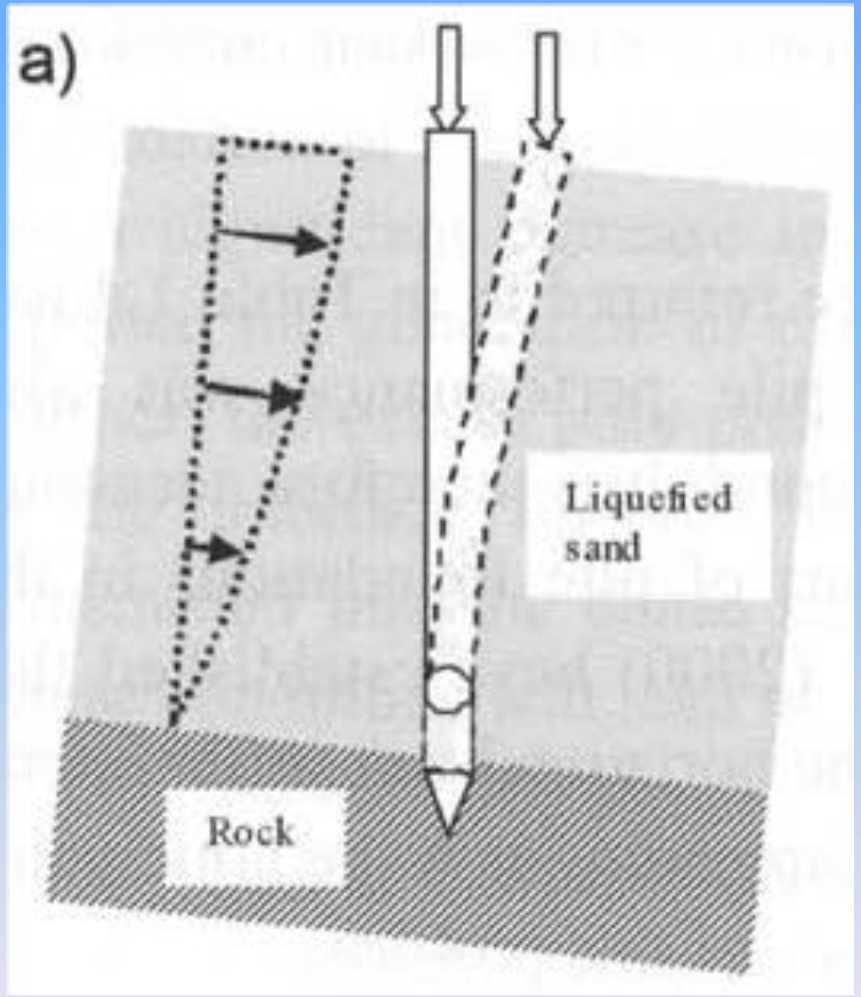
در شکل a، یک شمع منفرد که در یک لایه ماسه مایل روانگرا قرار گرفته نشان داده شده است.

شمع بار محوری قابل ملاحظه‌ای حمل می‌کند و با تبعیت از روانگرایی ایجاد شده با زلزله، لایه ماسه‌ای از گسترش جانبی از چپ به راست در شکل آسیب خواهد دید.

شمع منفرد می تواند از یک ناپایداری کمانشی مشابه با آن وضعیت نشان داده شده در شکل a آسیب ببیند اگر یک طول کافی شمع بدون نگه‌داری شود.

به علاوه، بار کمانش بحرانی که با استفاده از تئوری اویلر تخمین زده می شود درحضور یک نیروی جانبی روی شمع کاهش خواهد یافت.

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

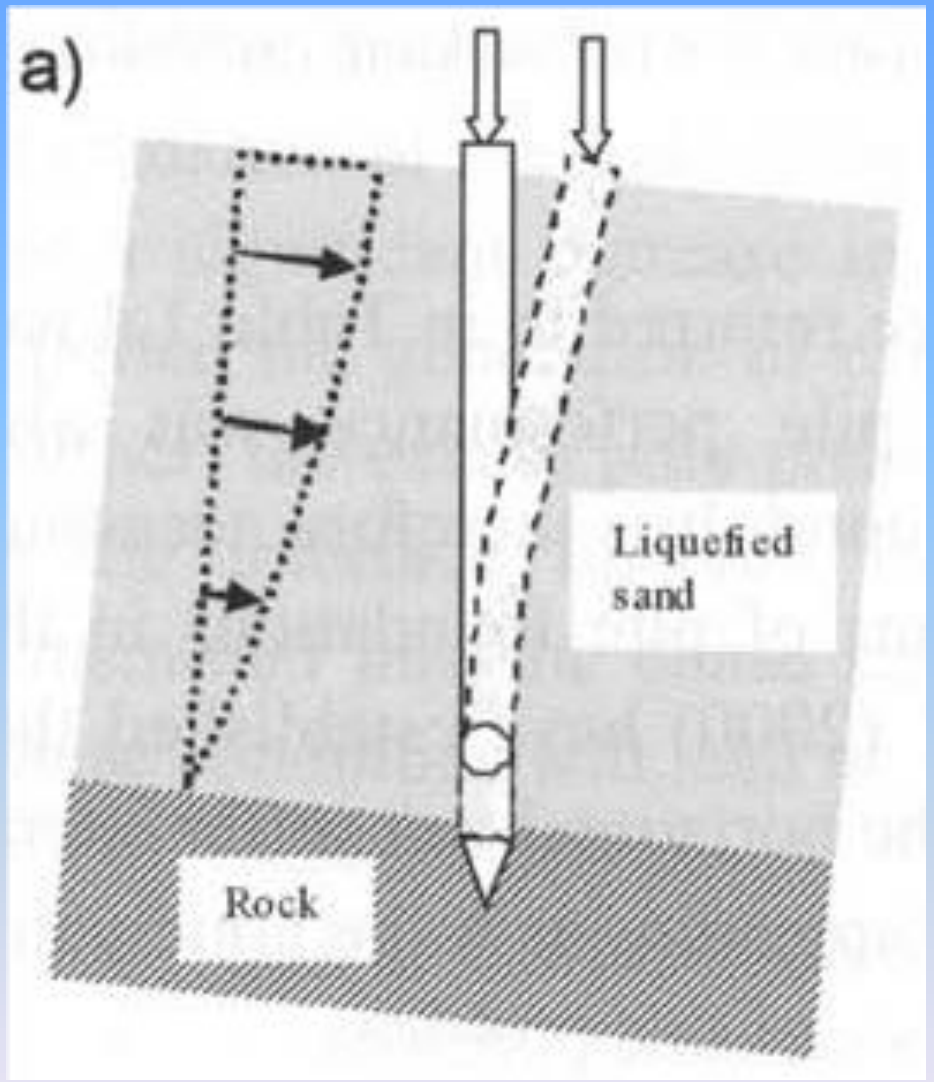


گسیختگی شمع‌ها تحت بارهای محوری و جانبی ترکیبی در خاک گسترش جانبی یافته
فقط ماسه روانگرا

تغییرات بیشتر در این نوع مکانیزم گسیختگی حضور یک لایه خاک غیرروانگراست که روی خاک روانگرا قرار گرفته است. این قبیل لایه قشری غیرروانگرا می تواند از گسترش جانبی که اغلب با شکل گیری یک غشای نازک در وجه مشترک بین لایه های روانگرا و غیر روانگرا بخصوص زمانی که لایه غیرروانگرا یک نفوذپذیری کمتری نسبت به لایه روانگرا دارد همراه می شود.

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

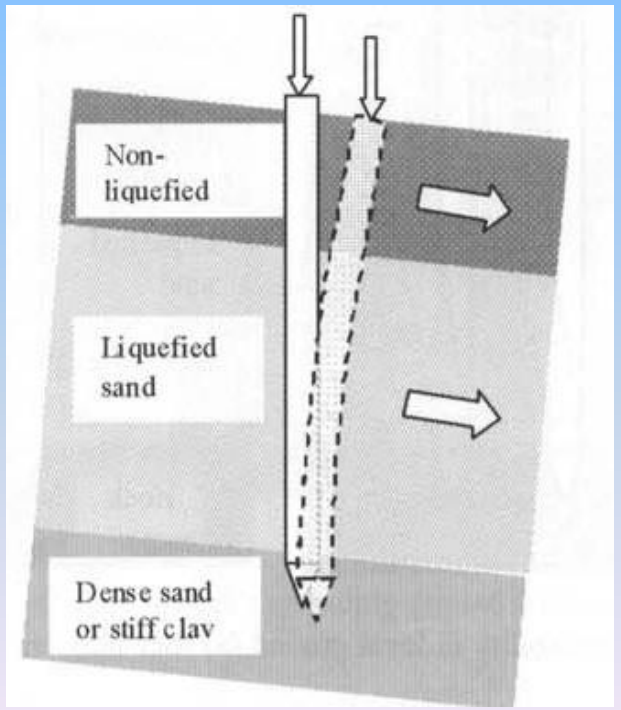
شمع در معرض فشارهای جانبی بزرگ انفعالی توسط قشر غیرروانگرا خواهد بود درحضور بار محوری اثرات $p-\sigma$ می تواند بیش از اندازه باشد و با بارهای جانبی می تواند باعث شکل‌گیری مفصل‌های پلاستیک همان طور که در شکل b نشان داده شده است شوند. با وجود اینکه شکل گسیخته شده نهایی این شمع مشابه با شمع نشان داده شده در شکل a است، شرایط ویژه‌ای در این جا باعث گسیختگی شمع با خمش نسبت به کمانش شده است. همچنین، ضخامت لایه روانگرا می تواند برای این نوع مکانیزم گسیختگی نسبتاً کوچک باشد چون کمانش موضوع مورد بحث نیست.



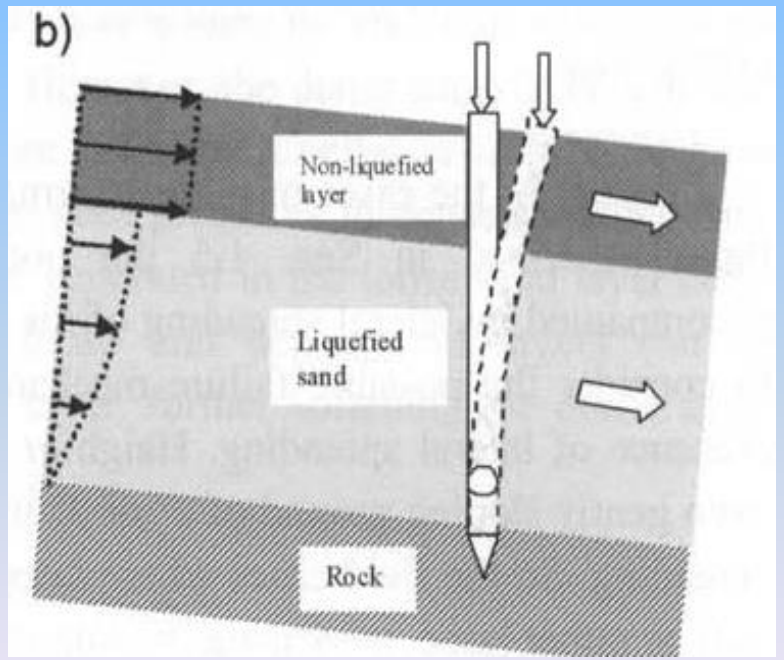
گسیختگی شمع‌ها تحت بارهای محوری و جانبی ترکیبی درخاک گسترش جانبی یافته
فقط ماسه روانگرا –a

مکانیزم های گسیختگی برای شمع های منفرد

تغییرات نهایی رخ داده در حالت صحرایی زمانی است که شمع در زمین لایه‌ای با یک قشر غیرروانگرا که زیر آن با یک لایه روانگرا که روی یک لایه ماسه متراکم یا لایه رس سخت است. شمع به طور عادی برای انتقال بارهای محوری به لایه ماسه متراکم هدایت خواهد شد. با تبعیت ازروانگرایی و گسترش جانبی، شمع می تواند از خمش الاستیک ناشی از فشار جانبی خاک اعمال شده توسط لایه غیرروانگرا آسیب ببیند. اما شمع به طور هم زمان از گسیختگی ظرفیت باربری که در شکل سمت راست نشان داده شده ، آسیب خواهد دید. این یک تغییر در مکانیزم گسیختگی در سطح معرفی شده در شکل b می باشد.



گسیختگی ترکیب نشت و خمش یک شمع در زمین با گسترش جانبی



گسیختگی شمع‌ها تحت بارهای محوری و جانبی ترکیبی درخاک گسترش جانبی یافته
با لایه قشری غیرروانگرا -b

مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع

- فونداسیون های عمیق معمولاً با گروهی از شمع ها طراحی می شوند. مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع در تراز زمین بعداً درنظر گرفته خواهد شد.

- حالتی با لایه روانگرای تکی روی سنگ بستر در نظر گرفته می شود. دوباره بار محوری روی گروه شمع در زمان بارگذاری زلزله تعریف می‌شود.

- همان طور که قبلاً شرح داده شد لایه ماسه روانگرا سختی خودش را به علت ایجاد فشار آب حفره‌ای اضافی از دست خواهد داد. تحت آن شرایط، شمع ها بدون نگه‌داری می‌شوند و مانند قبل به خاطر ناپایداری کمانش گسیخته خواهند شد.

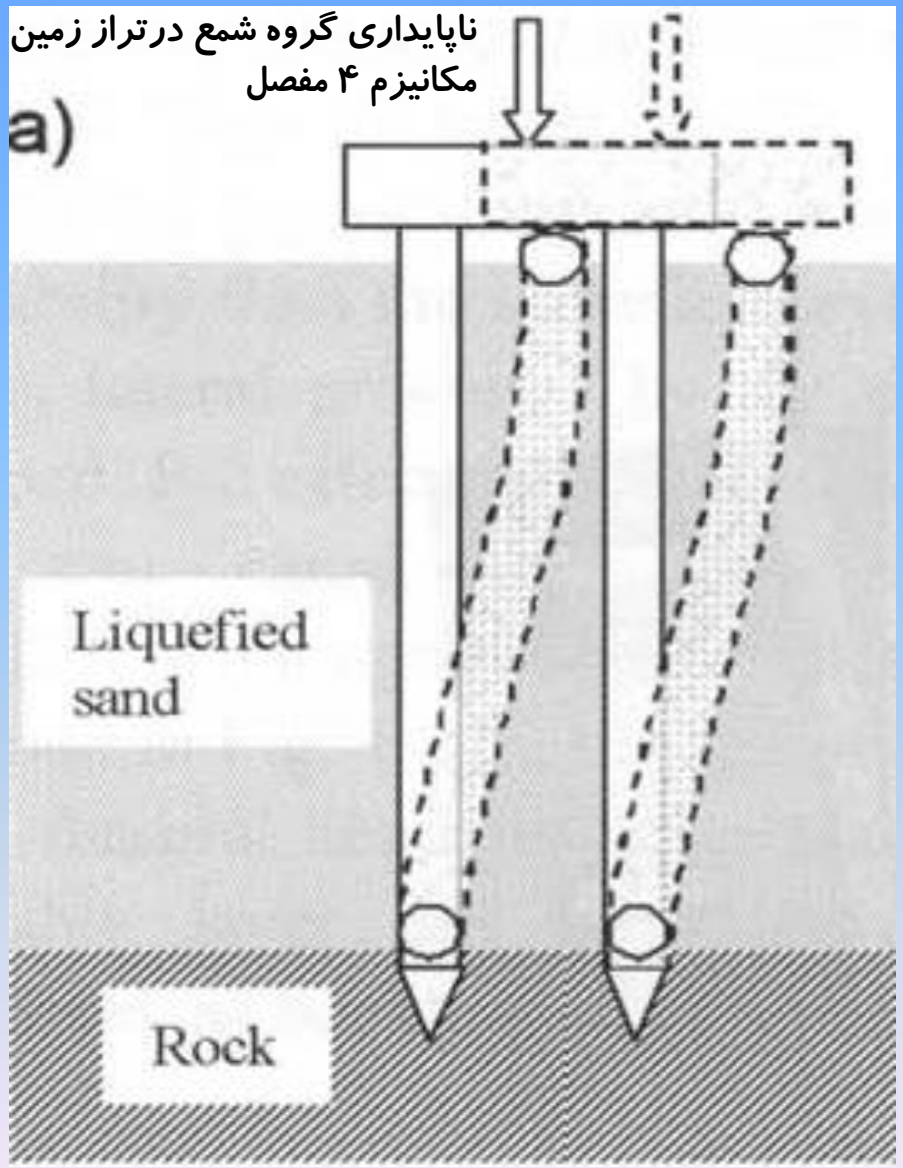
مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع

۲ مکانیزم گسیختگی همان طور که در شکل بعد معرفی شده است امکان پذیر هستند.

a) مکانیزم ۴ مفصل

b) مکانیزم ۳ مفصل

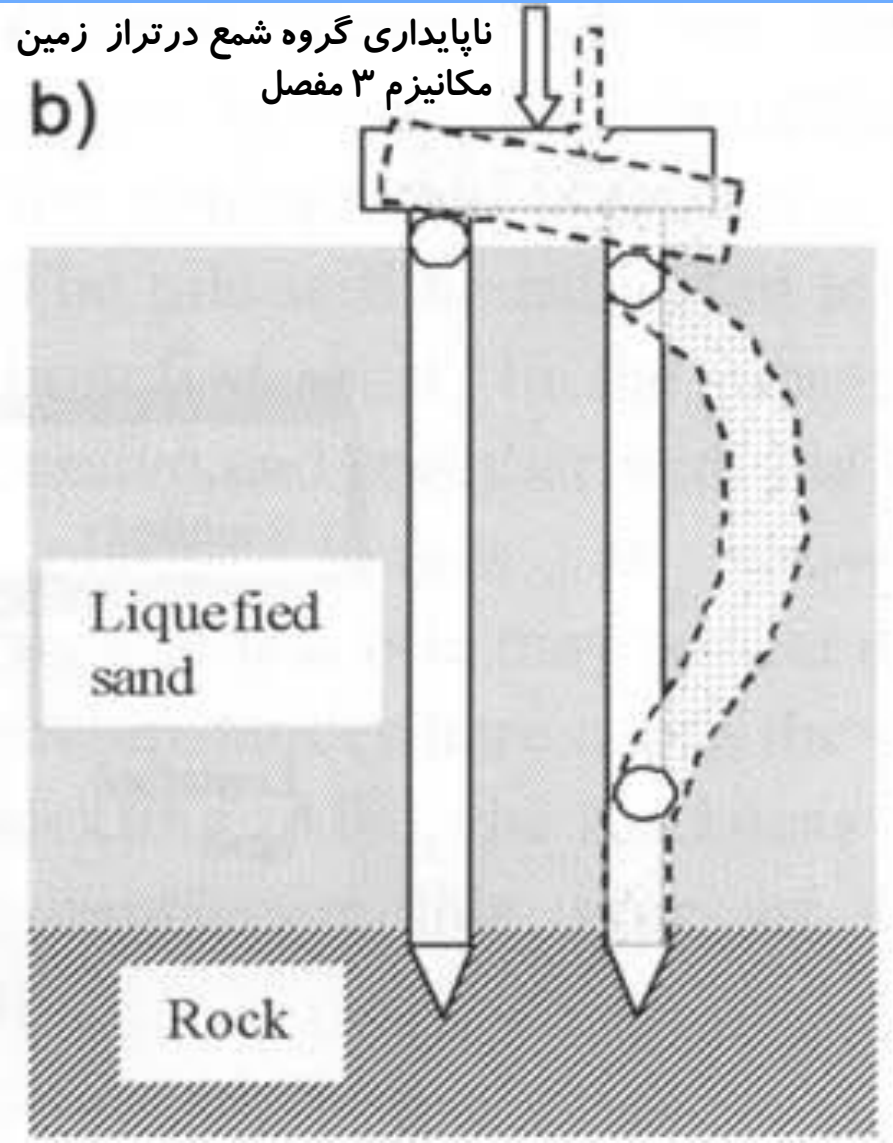
مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع



در شکل a شمع ها با شکل گیری مفصل پلاستیک در پایه ها وسرشمع ها گسیخته می شوند. این فرض می شود که شمع‌ها که به خوبی در سنگ قفل و بست شده‌اند.

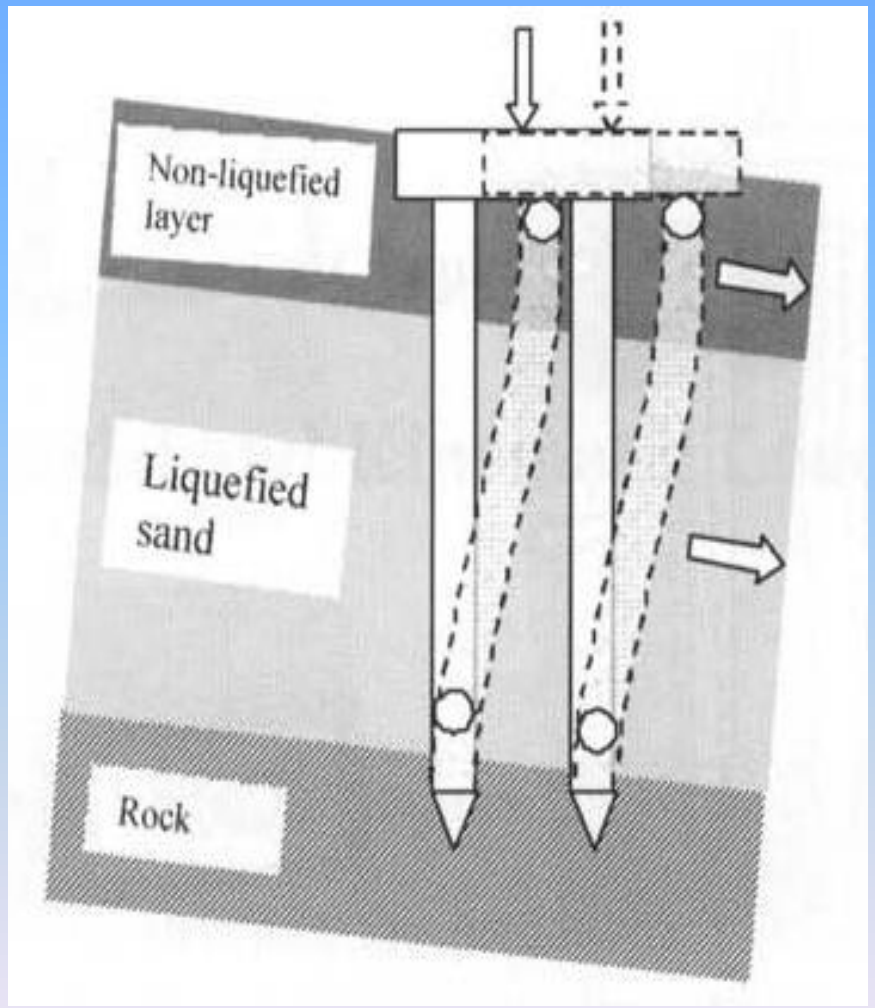
اگر این حالت نباشد، یعنی نوک شمع روی سنگ بستر قرار بگیرد هیچ مفصل پلاستیکی در نوک شمع ها شکل نخواهد گرفت. در این مکانیزم، کلاهک شمع از جابجایی‌های جانبی و نشست‌های قائم کوچک آسیب خواهد دید که باعث آسیب قابل ملاحظه‌ای به ساختمان فوقانی خواهد شد.

مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع



مکانیزم دوم که می تواند رخ دهد یک مکانیزم ۳ مفصلی است که در شکل b نشان داده شده است، در این حالت مفصل های پلاستیک تنها در سرشمع ها شکل خواهند گرفت. یکی از شمع ها مجبور به گسیختگی توسط ناپایداری کمانشی است. این مکانیزم می تواند باعث دوران شدید سرشمع ها شود که باعث اسیب قابل ملاحظه‌ی سازه های فوقانی می شود. همچنین توجه کنید که این مکانیزم می تواند روی دهد حتی اگر سر شمع ها (نوک) برای بسیج شدن تثبیت کامل درنوک شمع‌ها به خوبی قفل و بست شده باشند.

مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع

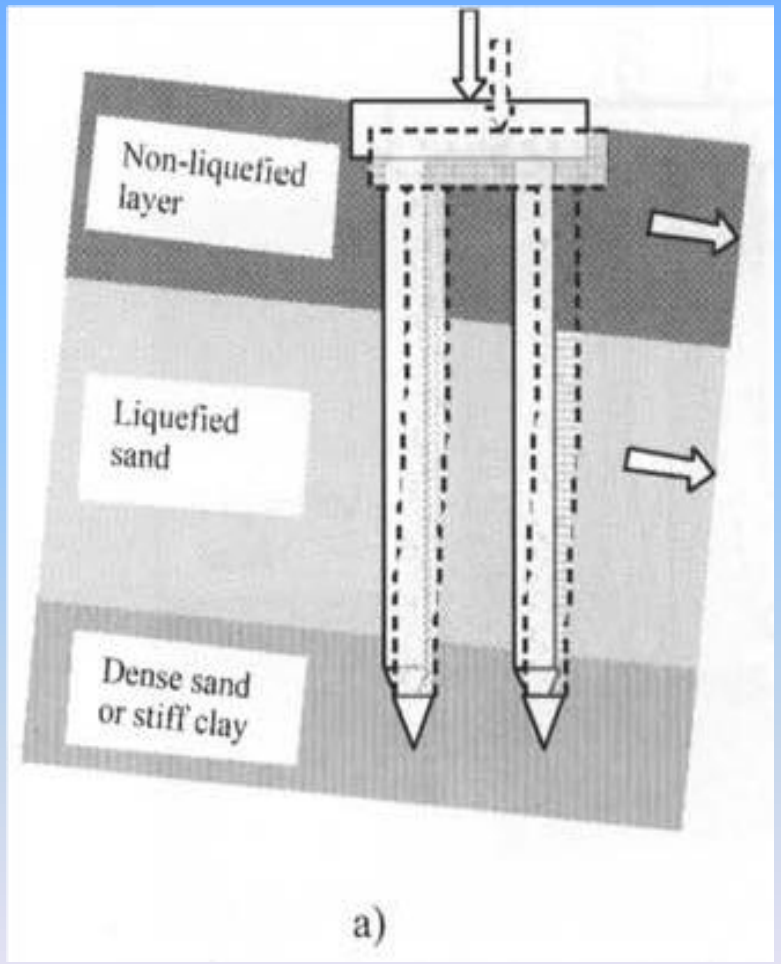


مانند قبل، بازده شمع درخاکهای روانگرا در حضور خاک های با گسترش جانبی جالب تر است.

پروفیل خاک در نظرگرفته شده مانند قبل با یک لایه غیرروانگرا روی لایه ماسه روانگرا است که روی یک سنگ بستر قرار گرفته است. گروه شمع درون سنگ قرار می گیرد. بار محوری از سازه‌های فوقانی روی گروه شمع در زمان بارگذاری زلزله وجود دارد. مکانیزم گسیختگی برای گروه شمع ها و کلاهک شمع ایجاد خواهد شد. این ترکیب با بار محوری باعث خمش بیش از اندازه شمع ها می شود که منجر به شکل گیری ۴ مفصل پلاستیک می شود.

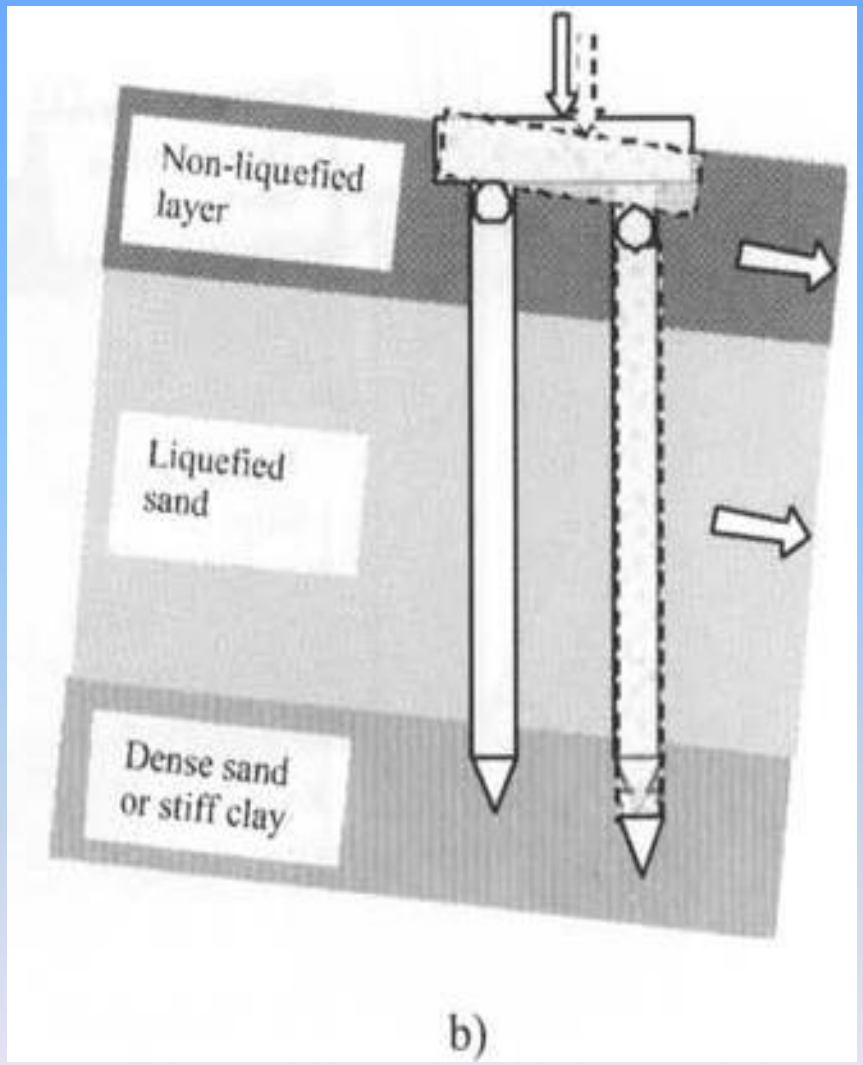
مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع

در زمین با گسترش جانبی، شکل گیری این مکانیزم نسبت به تراز زمین به خاطر حضور بارهای جانبی بزرگ آسان تر است. زمانی که نوک یک شمع در یک لایه ماسه متراکم یا رس سخت قرار می گیرد، گروه شمع می تواند از نشست های نشان داده شده در شکل آسیب ببیند. بارهای جانبی حاصل از قشر غیرروانگرا باعث چند خمش الاستیک شمع خواهد شد. اما گروه شمع می تواند با افت باربری انتهایی گسیخته شود و از نشست‌ها آسیب ببیند. در حالتی با گروه شمع، این مکانیزم گسیختگی تا حدی با توانایی کلاهک شمع برای مقاومت درمقابل نشست زمانی که درلایه غیرروانگرا قرار بگیرد محدود می شود. برخلاف شمع منفرد نشان داده شده، این ظرفیت باربری اضافی کلاهک می تواند نشست های بیش از اندازه گروه شمع را محدود کند.



گسیختگی باربری گروه های شمع در زمین با گسترش جانبی تنها گسیختگی باربری

مکانیزم های گسیختگی برای گروه های شمع



گسیختگی باربری گروه های شمع در زمین با گسترش جانبی ترکیب گسیختگی موضعی و مفصل پلاستیک

در یک نوع مشابه لایه‌بندی خاک، مکانیزم‌های گسیختگی بیشتری برای گروه شمع هم چنان که در شکل نشان داده شده است امکان پذیر هستند. یکی از شمع‌ها می تواند از نشست بیش از اندازه آسیب ببیند. این نشست می تواند همراه با شکل گیری مفصل های پلاستیک در کلاهک شمع باشد که در شکل نشان داده شده است. این مکانیزم گسیختگی می تواند منجر به دوران بیش از اندازه کلاهک شمع شود.

Reference

1 Madabhushi, G., Knappett, J., and Haigh, S. (2010) “Design of pile foundations in liquefiable soils.