

روانگرایی چیست و چگونه باید با آن مقابله کرد؟

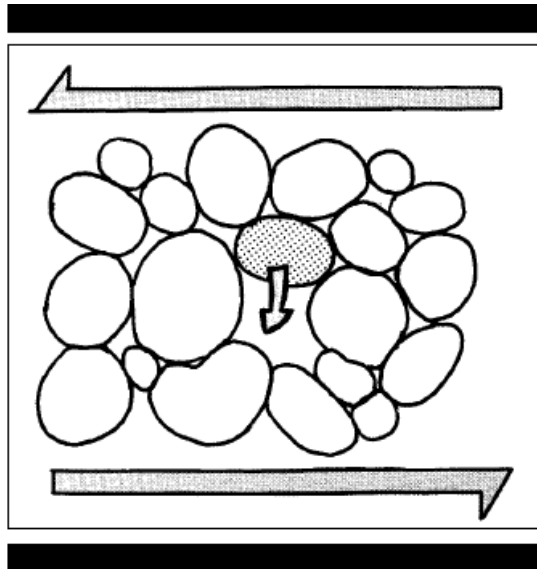
این مقاله از اولین تألیفاتی است که توسط اعضای موسسه تحقیقات فنی و مهندسی زلزله (EERI) برای توضیح پدیده روانگرایی و راهکارهای مقابله با آن، نوشته شده است. این مقاله جایگزینی برای انجام ارزیابی‌های لازم توسط متخصص ژئوتکنیک محسوب نمی‌شود.

فرآیند روانگرایی

روانگرایی پروسه‌ای است که رسوبات در زیر سطح آب به طور موقت مقاومت خود را از دست می‌دهند و به صورت یک مایع ویسکوز به جای ماده جامد رفتار می‌کند. حساس‌ترین نوع رسوبات، رسوبات ماسه و لای بدون رس و گاهی اوقات ماسه‌های روان هستند. عواملی که در خاک موجب روانگرایی می‌شود، عبارت‌اند از: امواج لرزه‌ای و امواج برشی اولیه که با عبور از لایه‌های دانه‌های اشباع شده، سبب تغییر شکل و ساختار دانه بندی و نهایتاً حرکت و جابه‌جایی سنگ دانه‌های شل می‌شوند (شکل ۱). اگر زهکشی انجام نشود، سقوط ذرات سبب افزایش فشار آب منفذی بین دانه‌ها خواهد شد. اگر فشار آب منفذی تا حدود وزن خاک پوشاننده افزایش یابد، لایه دارای سنگ دانه به طور موقت رفتاری مانند یک مایع ویسکوز خواهد داشت. در چنین شرایطی می‌توان گفت روانگرایی رخ داده است.

در شرایط پس از روانگرایی که خاک مقاومت برشی کمی دارد، امکان تغییر شکل گسترده به نحوی که سبب وارد شدن خسارت به سازه‌ها شود، وجود خواهد داشت. شرایطی که در آن خاک روانگرا شود در درجه اول به سستی خاک، مقدار سیمان و یا خاک رس بین ذرات و مقدار محدودیت زهکشی بستگی دارد. مقدار تغییر شکل خاک ناشی از روانگرایی به سستی مصالح، عمق، ضخامت و وسعت مساحت لایه روانگرا شده، شیب زمین و توزیع بارهای اعمال شده توسط ساختمان‌ها و سازه‌های دیگر بستگی دارد.

روانگرایی به طور تصادفی رخ نمی‌دهد، اما به محیط‌هایی که به لحاظ زمین شناسی و هیدرولوژیکی دارای لایه‌های تازه تشکیل شده از ماسه و لای هستند (در مناطقی که سطح سفره آب بالا است) محدود می‌شود. به طور کلی، هر چه رسوب تازه‌تر و شل‌تر و سطح آب بالاتر باشد، خاک به روانگرایی بیشتر حساس است. رسوبات حساس‌تر به روانگرایی شامل هولوسن (کمتر از ۱۰,۰۰۰ ساله) در دلتاها، رسوبات بستر رودخانه، رسوبات دشت‌های سیلابی و رسوبات ناشی از وزش باد و مواد پرکننده با فشردگی ضعیف می‌باشد. وقوع روانگرایی در مناطقی که سطح سفره آب زیر زمینی کمتر از ۱۰ متر زیر سطح زمین باشد، بیشترین احتمال را دارد. چند نمونه از پدیده روانگرایی در مناطقی با سطح سفره بیشتر از ۲۰ متر نیز مشاهده شده است. خاک متراکم یعنی خاکی که به خوبی فشرده شده باشد، حساسیت کمی به روانگرایی دارد.



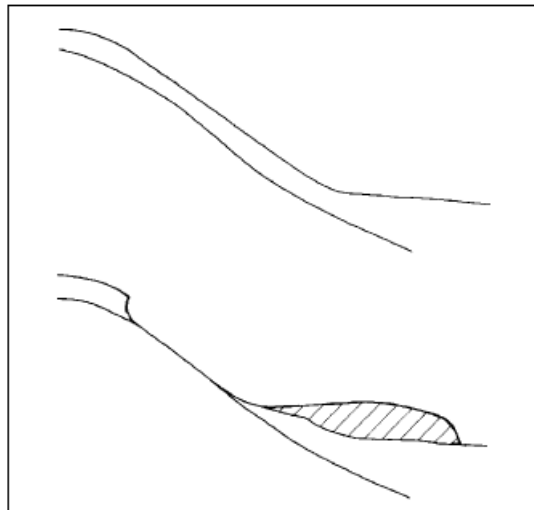
شکل ۱ - طرحی از یک حجم از دانه‌های اشباع شده ماسه از آب که روند روانگرایی را نشان می‌دهد. تغییر شکل برشی (نشان داده شده با فلش بزرگ) ناشی زلزله که ساختار دانه‌ای را به هم می‌زند، موجب می‌شود گروه‌های سست روی هم قرار گرفته سقوط کنند، همان‌طور که توسط فلش منحنی (که youd، ۱۹۹۲) نشان داده شده است.

اثر روانگرایی بر محیط زیست ساخته دست بشر

پدیده روانگرایی به خودی خود ممکن است مخرب و خطرناک نباشد. تنها زمانی که روانگرایی به نوعی از جابجایی زمین یا شکست زمین منجر شود، اثرات مخرب آن بر محیط زیست مشاهده خواهد شد. به لحاظ مهندسی وقوع روانگرایی از اهمیت بسزایی برخوردار نیست، اما شدت آن و یا قابلیت‌های آن برای آسیب از اهمیت زیادی برخوردار است. عوارض جانبی روانگرایی می‌تواند اشکال مختلفی داشته باشد. این اشکال عبارت است از: شکست در زمین (جابجایی خاک)، گسترش جانبی؛ نوسان زمین، از دست دادن قدرت باربری؛ نشست؛ و افزایش فشار جانبی بر روی دیوارهای حائل.

شکست در زمین

شکست در زمین فاجعه‌بارترین عواقب ناشی از روانگرایی است. این شکست معمولاً توده‌های بزرگ از خاک را به صورت جانبی ده‌ها متر جابجا می‌کند و در چند مورد، توده‌های بزرگی از خاک را ده‌ها کیلومتر به منت پایین شیب با سرعتی تا ده‌ها کیلومتر در ساعت جابجا می‌کند. این جریان ممکن است از خاک کاملاً روانگرا شده و یا توده‌های سالم بر روی لایه‌ای از خاک روانگرا شده تشکیل شده باشد. روانی در ماسه شل اشباع و یا لای در دامنه‌ای با شیب نسبتاً تند، معمولاً بیشتر از ۳ درجه گسترش می‌یابد (شکل ۲).

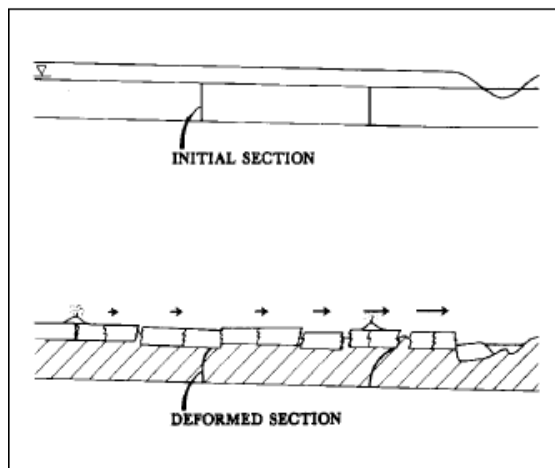


شکل ۲ - نمودار گسیختگی روانی ناشی از روانگرایی و از دست دادن قدرت خاک بر روی یک شیب تند. از دست دادن قدرت، موجب ایجاد ناپایداری و روانی به پایین شیب تند می‌شود (Youd، ۱۹۹۲).

گسترش جانبی

گسترش جانبی شامل جابجایی جانبی توده‌های سنگی بزرگ خاک در نتیجه وقوع روانگرایی در یک لایه زیر سطحی می‌شود (شکل ۳). جابجایی در نتیجه ترکیبی از نیروهای گرانشی و نیروهای اینرسی تولید شده توسط زمین لرزه رخ می‌دهد. گسترش جانبی به طور کلی در شیب ملایم (اغلب کمتر از ۳ درجه) ایجاد می‌شود و به سمت یک وجه آزاد مانند یک کانال رودخانه کنده شده حرکت می‌کند. جابجایی افقی معمولاً به چندین متر می‌رسد. زمین جابجا شده معمولاً به صورت داخلی می‌شکند و موجب شکاف، پرتگاه، فرو زمین و فرو زمین بر روی سطح شکسته می‌شود. گسترش جانبی معمولاً موجب مشکل در فونداسیون ساختمان‌های ساخته شده بر روی و یا در عرض شکست، قطع خطوط لوله و تأسیسات دیگر در توده شکست و فشرده سازی و یا کمانش سازه‌های مهندسی، از قبیل پل، ساخته شده بر روی پنجه شکست می‌شود.

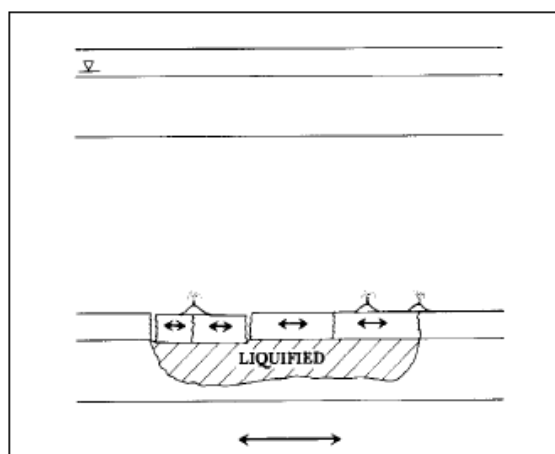
آسیب‌های ناشی از گسترش جانبی به شدت مخرب و اغلب فراگیر است. به عنوان مثال، در طول زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا، بیش از ۲۰۰ پل توسط گسترش رسوبات دشت سیلابی به سمت کانال‌های رودخانه آسیب دیدند و یا نابود شدند. گسترش، روساخت‌ها را فشرده کرد، عرشه پل‌ها را خم کرد و موجب فشار جانبی در تیر جانبی بر پایه کناری پل و پایه پل جابجا شده و کج شده، شد. گسترش جانبی به خصوص برای خطوط لوله مخرب است. به عنوان مثال در زلزله سال ۱۹۰۶ در سانفرانسیسکو، شکست خط لوله تلاش برای خاموش کردن آتشی که در جریان زلزله به وجود آمده بود را به شدت مختل کرد. آتش سوزی دلیل حدوداً ۸۵٪ از کل خسارت وارده به سانفرانسیسکو شد.



شکل ۳ - نمودار گسترش جانبی (Youd, ۱۹۹۲).

نوسان زمین

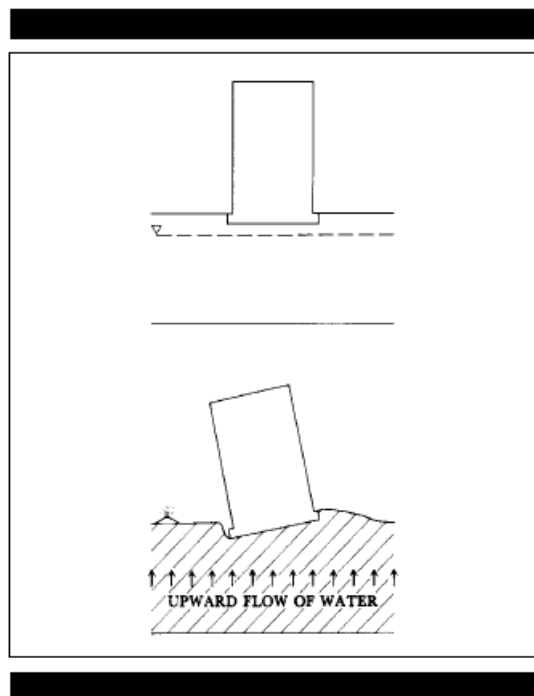
در جایی که زمین مسطح و یا شیب برای ایجاد جابجایی جانبی خیلی ملایم باشد، روانگرایی در عمق ممکن است لایه‌های خاک پوشاننده را از لایه‌های زیرین جدا کند که همین امر موجب نوسان لایه خاک بالایی به جلو، عقب، بالا و پایین و همگام با امواج زمین می‌شود (شکل ۴). این نوسانات معمولاً با باز و بسته شدن شکاف و شکستگی سازه‌های صلب مانند اسفالت و خطوط لوله همراه است. نوسان زمین در زلزله لوما پریتا ۱۹۸۹ در منطقه ماریتا از سانفرانسیسکو سبب شکست در اسفالت پیاده‌روها و خیابان‌ها و شکستگی وسیع خط لوله نیز شد.



شکل ۴ - نمودار نوسان افقی زمین ناشی از روانگرایی در ناحیه هاشور خورده موجب جدا شدن لایه‌های سطحی از لایه‌های زیرین می‌شود. لایه جدا شده در یک مد متفاوت از زمین‌های اطراف نوسان می‌کند که موجب ایجاد شکاف و ایجاد ضربه در سراسر شکاف و انتقال امواج زمین می‌شود (Youd, ۱۹۹۲).

از دست دادن مقاومت تکیه گاهی (باربری)

وقتی خاک که تکیه گاه یک ساختمان یا سازه است روانگرا می‌شود و مقاومت خود را از دست می‌دهد، احتمال تغییر شکل بزرگ در داخل خاک وجود دارد که به موجب آن سازه یا کج و یا دچار نشست می‌شود (شکل ۵). در مقابل، مخازن و شمع‌های در خاک دفن شده ممکن است از خاک روانگرا شده بیرون بیایند. به عنوان مثال، بسیاری از ساختمان‌ها در طول زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا، ژاپن دچار نشست و کج شدگی شدند. بزرگ‌ترین شکست از این نوع در طول این رویداد در مجتمع آپارتمانی Kawangishicho رخ داد که در آن چندین ساختمان چهار طبقه تا ۶۰ درجه کج شدند. ظاهراً، روانگرایی ابتدا در یک لایه ماسه چندین متر در زیر سطح زمین ایجاد شد و سپس به سمت بالا از طریق لایه‌های ماسه بالای گسترش یافت. موج رو به افزایش روانگرایی، خاک زیر ساختمان‌ها را ضعیف کرد و موجب شد که سازه‌ها به آرامی نشست کنند و کج شوند.



شکل ۵ - نمودار سازه کج شده به علت از دست دادن قدرت باربری. روانگرایی خاک را تضعیف می‌کند و در نتیجه تکیه گاه فونداسیون رو ضعیف می‌کند که موجب می‌شود سازه سنگین نشست کند و کج شود (Youd, ۱۹۹۲).

نشست

در بسیاری از موارد، وزن سازه برای ایجاد نشست بزرگ در ارتباط با شکست ظرفیت باربری خاک که در بالا توضیح داده شد، به اندازه کافی بزرگ نخواهد بود. با این حال، نشست کوچک‌تر ممکن است به علت فشار آب حفره‌ای خاک پراکنده شده و خاک تحکیم یافته پس از زلزله رخ دهد. این نشست‌ها ممکن است مخرب باشند. فوران جوشش ماسه از نشانه‌های رایج روانگرایی است که همچنین می‌تواند به نشست تفاضلی موضعی منجر شود.

افزایش فشار جانبی بر روی دیوارهای حائل

اگر خاک پشت یک دیوار حائل روانگرا شود، فشار جانبی بر روی دیوار تا حد زیادی ممکن است افزایش یابد. در نتیجه، دیوارهای حائل ممکن است به صورت جانبی جابجا، کج و یا از نظر سازه‌ای دچار شکست شوند.

آیا روانگرایی را می‌توان پیش بینی کرد؟

اگر چه شناسایی مناطقی که پتانسیل روانگرایی دارند امکان پذیر است اما وقوع آن مانند وقوع زلزله قابل پیش بینی نیست (با زمان، مکان و درجه اطمینان اختصاص داده شده به آن).

نقشه پتانسیل روانگرایی در مقیاس منطقه‌ای تا حد زیادی دانش ما را در مورد این خطر تقویت کرده است. این نقشه‌ها در حال حاضر برای بسیاری از مناطق ایالات متحده و ژاپن و مناطق مختلف دیگر در جهان وجود دارد. نقشه پتانسیل روانگرایی به طور کلی با ترکیب نقشه حساسیت به روانگرایی با یک نقشه امکان روانگرایی به وجود آمده است. حساسیت به روانگرایی اشاره به ظرفیت خاک برای مقاومت در برابر روانگرایی دارد که عوامل اصلی کنترل حساسیت آن نوع خاک، تراکم و عمق آب است. امکان روانگرایی تابعی از شدت لرزش زمین و یا نیروی وارد شده بر روی خاک است. فراوانی وقوع زلزله و شدت زمین لرزه از عوامل مؤثر در وقوع روانگرایی است.

گزینه‌های کاهش خطر چیست؟

راه‌های گوناگونی برای کاهش خطر روانگرایی احتمالی وجود دارد:

- ۱) تقویت سازه‌ها برای مقاومت در برابر حرکات پیش بینی شده زمین (در صورت کوچک بودن).
- ۲) انتخاب نوع و عمق مناسب فونداسیون (از جمله اصلاحات فونداسیون در موارد ساختمان‌های موجود)، به طوری که حرکات زمین اثر نامطلوبی بر سازه نگذارد (به عنوان مثال، پی گسترده برای افزایش صلبیت فونداسیون؛ شمع و یا ستون عمیق که در زیر یک منطقه از خاک روانگرا گسترش یافته است).
- ۳) تثبیت خاک برای حذف پتانسیل روانگرایی یا برای کنترل اثرات آن (به عنوان مثال، حذف و جایگزینی خاک روانگرا؛ تثبیت سازی در محل توسط تزریق دوغاب، متراکم و یا آبیگری کردن؛ تقویت مناطق گسترش جانبی).

چگونه گزینه‌های کاهش انتخاب می‌شوند؟

انتخاب گزینه‌های کاهش به شدت به ویژگی‌های خاص سایت بستگی دارد. در صورتی که خطر حرکت جانبی قابل توجهی وجود نداشته باشد، کاهش برای یک ساختمان جدید تا حد زیادی به پیدا کردن مقرون به صرفه‌ترین راه حل برای فراهم کردن تکیه گاه عمودی و کنترل نشست بستگی دارد. برای ساختمان‌های موجود، به دلیل وجود سازه، کاهش احتمال وقوع به طور کلی سخت تر و گران قیمت تر است. تکنیک‌هایی که خاک را متراکم می‌کند برای یک ساختمان موجود ممنوع است چرا که موجب نشست سازه می‌شوند.

هنگامی که خطر گسترش جانبی وجود داشته باشد، برای مؤثر واقع شدن اقدامات کاهش دهنده، در برخی موارد ممکن است نیاز باشند که فراتر از مرز سایت اعمال شوند.

آیا کاهش مؤثر است؟

چندین تکنیک مختلف برای تقویت زمین در سایت‌های شناخته شده دارای پتانسیل روانگرایی استفاده می‌شوند. به عنوان مثال، مناطق مختلفی در جزیره ترژر، سانتا کروز، ریچموند، امری ویل، جزیره خلیج فارم، شهر یونیون و جنوب سانفرانسیسکو، کالیفرنیا، قبل از زلزله لوما پریتا در سال ۱۹۸۹ تقویت شدند. در مناطقی که این اقدام صورت گرفته بود، به زمین و یا سازه‌های ساخته شده روی آن آسیبی وارد نشد و یا شدت آسیب اندک بود. این در شرایطی بود که شتاب ماکزیمم از $g_{0.11}$ تا $g_{0.45}$ متغیر بود. در مقابل، زمین‌های تقویت نشده در مجاورت این مناطق، عمدتاً به علت گسترش روانگرایی دچار نوسان و یا نشست شدند.

مترجم: پوریا نخعی

منبع:

<http://eeri.org/wp-content/uploads/store/Free۲۰٪.PDF۲۰٪.Downloads/LIQ۱.pdf>