



وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه روشهای بررسی رفتار شمع در خاکهای روانگرا و مقایسه با

موارد واقعی

استاد راهنما :

آقای دکتر محمد قاسم سبحان

آقای دکتر حبیب شاه نظری

دانشجو :

مریم عربیه قمی

تقدیم بہ

پدر نزر کو اور مادر عزیزم

کہ، ہموارہ مشوق من در را پیشرفت بوده اند.

تقدیر و تشکر:

از زحمات جناب آقایان دکتر شاه نظری و دکتر سحاب کمال تشکر را دارم که با

راهنمایی‌های ارزنده خود من را در انجام این تحقیق یاری نمودند.

تاریخ: ۱۳۹۰ / ۷ / ۱۶

شماره: ۴۵۴۹۱۱۵۵۷۰

پیوست:



دانشگاه تفرش

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صور تجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

دانشکده: مهندسی عمران

شماره دانشجویی: ۸۷۳۱۴۱۰۰۹

نام و نام خانوادگی: مریم عربیه قمی

رشته تحصیلی/گرایش: مهندسی عمران / مکانیک خاک و پی

عنوان پروژه: مطالعه روش‌های بررسی رفتار شمع در خاک‌های روانگرا و مقایسه با موارد واقعی

تاریخ دفاع: ۹۰/۰۶/۲۹

تاریخ تصویب: ۸۸/۱۲/۱۰

تعداد واحد: ۶

به عدد: ۱۸/۵ به حروف: هیجده و نیم

نمره نهایی:

امضاء	محل اشتغال	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	هیات داوران
	دانشگاه تفرش	استادیار	دکتر محمد قاسم سبحان	استاد راهنمای اول
	دانشگاه علم و صنعت ایران	استادیار	دکتر حبیب شاه نظری	استاد راهنمای دوم
	دانشگاه اراک	استادیار	دکتر اصغر لادریان	داور خارجی
	دانشگاه تفرش	استادیار	دکتر ناصر عرفاتی	داور داخلی
	دانشگاه تفرش	استادیار	دکتر ناصر عرفاتی	نماینده تحصیلات تکمیلی

دانشگاه تفرش
دانشکده: مهندسی عمران
دکتر محمد قاسم سبحان

امضاء:

تاریخ: ۹۰/۰۶/۲۹

مهر:



مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه: دکتر حمید رضا دهقانپور

امضاء:

تاریخ: ۹۰/۷/۱۶

مهر:



چکیده

نحوه عملکرد شمعها در هنگام وقوع زلزله یکی از عوامل اصلی تأثیر گذار بر پاسخ لرزه ای سازه هامیباشد. از اینرو روشهایی بمنظور آنالیز و طراحی شمعها تحت بار زلزله ارائه شده است اما کاربرد این روشها برای شمعهای ساخته شده در زمینهای مستعد روانگرایی از ضریب اطمینان کافی برخوردار نیست. در حقیقت، عملکرد شمعها در خاک های روانگرا بسیار پیچیده تر از عملکرد شمعها در خاکهای غیرروانگرا است زیرا در این حالت، علاوه بر اینکه شمع، هم از طرف سازه و هم از طرف خاک تحت بارهای دینامیکی متفاوتی قرار می گیرد، مقاومت و سختی خاک در طول زمان در اثر رفتار غیر خطی خاک و افزایش فشار آب حفره ای، کاهش می یابد.

مطالعات پس از وقوع زلزله در خاک روانگرا نشان داده است که گسیختگی ها فقط در سرشمع رخ نداده بلکه در قسمتهای پایین تر نیز ترک و گسیختگی مشاهده شده است. نتایج بدست آمده از این پدیده نشان داد که هم نیروی ناشی از سازه و هم اندرکنش کینماتیکی بین شمع و خاک نقش مهمی در رفتار شمع ها دارد.

در این تحقیق از روش تفاضل محدود جهت بررسی تأثیر گیرداری سرشمع، ضخامت لایه روانگرا و شیب لایه روانگرا بر پی های شمعی استفاده شده است. نتیجه بیانگر آن است سه عامل فوق الذکر یکی از اصلی ترین پارامترهای تأثیر گذار بر پاسخ لرزه ای شمعهای قرار گرفته در خاک روانگرا می باشند، لذا این پارامترها در هنگام طراحی شمعها در خاک روانگرا شونده می بایست مورد توجه قرار گیرند.

کلمات کلیدی: شمع، خاک روانگرا، تفاضل محدود، تحلیل دینامیکی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مقدمه و کلیات
۱-۱	۱-۱- پیشگفتار.....
۲	۲-۱- روانگرایی و اثرات آن بر شمع‌ها.....
۵	۱-۲-۱- زلزله های نیگاتا و آلاسکا در سال ۱۹۶۴.....
۶	۲-۲-۱- زلزله لوماپریتا در ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹.....
۸	۳-۲-۱- زلزله کوبه در ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵.....
۹	۳-۱- تناقض بین یافته های اخیر و چگونگی خرابی شمع ها در خاک روانگرا.....
۱۱	۴-۱- پی های عمیق (شمع ها).....
۱۲	۵-۱- هدف از تحقیق حاضر.....
۱۲	۶-۱- مراحل تحقیق.....
۱۳	فصل دوم - مروری بر تحقیقات انجام شده
۱۳	۱-۲- مطالعات صحرایی.....
۱۵	۱-۱-۲- مکانیزم خرابی ناشی از خمش.....
۱۶	۲-۱-۲- مکانیزم خرابی ناشی از کمانش.....
۱۸	۲-۲- مطالعات آزمایشگاهی روی مدل های فیزیکی.....
۲۰	۳-۲- مطالعات عددی.....
۲۳	فصل سوم - مطالعه پدیده روانگرایی
۲۳	۱-۳- مقدمه.....
۲۳	۲-۳- سابقه مطالعات.....
۲۴	۳-۳- مکانیسم روانگرایی.....
۲۶	۴-۳- پدیده های مرتبط با روانگرایی.....
۲۶	۱-۴-۳- روانگرایی جریانی.....
۲۶	۲-۴-۳- تحرک سیکلی.....
۲۷	۵-۳- خاکهای مستعد روانگرایی.....
۲۷	۱-۵-۳- معیار تاریخی.....
۲۷	۲-۵-۳- عوامل زمین شناسی.....
۲۷	۳-۵-۳- بافت و ساختمان خاک.....
۲۸	۴-۵-۳- شرایط اولیه خاک.....
۲۸	۱-۴-۵-۳- مفهوم نسبت تخلخل بحرانی.....
۲۹	۲-۴-۵-۳- مفهوم تغییر شکل حالت پایدار.....

۳۳	۶-۳- ضوابط آیین نامه ای در طراحی شمع ها در خاکهای روانگرا.....
۳۶	۷-۳- مقاومت برشی خاک در حالت روانگرا.....
۳۸	فصل چهارم - روشهای تحلیلی اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۳۸	۱-۴- تیر بر روی فونداسیون الاستیک.....
۳۹	۱-۴-۱- خاکهای دانه ای.....
۴۴	۱-۴-۲- خاکهای چسبنده.....
۴۵	۲-۴- تیر بر روی فونداسیون وینکلر.....
۴۹	۳-۴- روش محیط الاستیک.....
۵۲	۴-۴- روشهای اجزای محدود.....
۵۵	فصل پنجم - معرفی نرم افزار FLAC2D و تعیین پامترهای سطح مشترک خاک و شمع.....
۵۵	۱-۵- مقدمه.....
۵۵	۲-۵- حوزه کاربرد برنامه.....
۵۶	۳-۵- روش تفاضل محدود.....
۵۷	۴-۵- روش تفاضل محدود صریح.....
۵۸	۵-۵- آنالیز لاگرانژی.....
۵۸	۶-۵- ملاحظات مدلسازی دینامیکی.....
۵۸	۱-۶-۵- بارگذاری لرزه ای و نحوه اعمال شرایط مرزی.....
۶۰	۲-۶-۵- مرزهای آرام.....
۶۰	۳-۶-۵- مرزهای میدان آزاد.....
۶۱	۴-۶-۵- میرایی میکانیکی.....
۶۲	۵-۶-۵- انتقال موج.....
۶۲	۷-۵- پارامترهای سطح مشترک شمع و خاک در نرم افزار FLAC.....
۶۲	۱-۷-۵- مقدمه.....
۶۲	۲-۷-۵- المان شمع.....
۶۳	۱-۲-۷-۵- رفتار فنرهای برشی.....
۶۴	۲-۲-۷-۵- رفتار فنرهای نرمال.....
۶۵	۳-۷-۵- تعیین پارامترهای سطح مشترک شمع و خاک.....
۶۶	۴-۷-۵- محاسبه پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و خاک برای این تحقیق.....
۷۷	فصل ششم - مراحل مدلسازی در نرم افزار FLAC2D.....
۷۷	۱-۶- مدلسازی.....
۷۸	۱-۱-۶- معیار تسلیم موهر کولمب.....
۸۰	۲-۱-۶- مدل فین جهت تولید فشار آب حفره ای.....
۸۱	۲-۶- مراحل مدلسازی.....

۸۱	.....مرحله اول مدل‌سازی.....۱-۲-۶
۸۱	.....مرحله دوم مدل‌سازی.....۲-۲-۶
۸۳	.....مرحله سوم مدل‌سازی.....۳-۲-۶
۸۳	.....مرحله چهارم مدل‌سازی.....۴-۲-۶
۸۵	.....نتیجه گیری.....۳-۶
۸۵	.....تأثیر گیرداری سرشمع بر مقادیر لنگر خمشی وارده به شمع و تغییر مکان جانبی شمع.....۱-۳-۶
۸۸	.....تأثیر ضخامت لایه روانگرا شونده بر مقادیر لنگر خمشی وارده به شمع و تغییر مکان جانبی شمع.....۲-۳-۶
۹۰	.....تأثیر شیب زمین بر مقادیر لنگر خمشی وارده به شمع و تغییر مکان وارده به شمع.....۳-۳-۶
۹۳	.....مقایسه نتایج مدل‌سازی با روش تحلیلی ارائه شده در بخش ۴-۱-۱.....۴-۳-۶

فصل هفتم - نتیجه گیری و پیشنهادات.....۹۶

۹۶	.....نتیجه گیری.....۱-۷
۹۷	.....پیشنهادات برای ادامه تحقیق.....۲-۷
۹۸	.....فهرست علائم و اختصارات.....۳-۷
۱۰۰	.....فهرست مراجع و مأخذ.....۴-۷

فهرست شکلها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱- الف : واژگونی یک ساختمان در زلزله سال ۱۹۹۹ در کوسلی ترکیه ، ب: خرابی یک ساختمان بلند در زلزله کوبه ، ج: خرابی یک ساختمان مسکونی در طی زلزله سال ۲۰۰۱ هند [۲]..... ۱
- شکل ۱-۲- تاریخچه زمانی پارامترهای مختلف بر اساس تحقیقات یاسودا و بریل که تغییرات عوامل مختلف موثر بر روی مقاومت شمع ها در هنگام وقوع زلزله را نشان می دهد [۲]..... ۳
- شکل ۱-۳- خرابی شمع پل یاچیو در اثر گسترش جانبی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا [۵]..... ۳
- شکل ۱-۴- خرابی شمع در ساختمان NFCH طی زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا [۲]..... ۴
- شکل ۱-۵- شکست شمع مشاهده شده پس از حفاری ساختمان NHK بعد از زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا [۲]..... ۵
- شکل ۱-۶- خم شدن یک پل راه آهن در زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا در اثر شکست شمع های زیر پایه پل [۷]..... ۶
- شکل ۱-۷- شکاف ایجاد شده بین شمع و خاک در بزرگراه استراو در اثر زلزله لوماپریتا [۷]..... ۷
- شکل ۱-۸- گسیختگی برشی سر شمع در بزرگراه استراو در اثر زلزله لوماپریتا [۷]..... ۷
- شکل ۱-۹- بخش تخریب شده بزرگراه هانشین در زلزله کوبه [۸]..... ۸
- شکل ۱-۱۰- طیف پاسخ ثبت شده در نزدیکی قسمت تخریب شده بزرگراه هانشین ، در زلزله کوبه ، که اثر افزایش پریود ناشی از انعطاف پذیری فونداسیون بر روی نیروهای سازه ای را نشان می دهد [۹]..... ۹
- شکل ۱-۱۱- خرابی پل شووا در زلزله نیگاتا [۲]..... ۱۰
- شکل ۱-۱۲- شکل شماتیک انحراف تیرهای پل شووا [۲]..... ۱۰
- شکل ۱-۲- خرابی وارده به شمع های شماره ۱ (شمع اصطکاکی) و شماره ۲ (شمع اتکایی) در زلزله نیگاتا ۱۹۶۴..... ۱۴
- شکل ۲-۲: مفهوم طول موثر [۱۸]..... ۱۷
- شکل ۲-۳: مفهوم طول موثر پی های شمع [۱۸]..... ۱۷
- شکل ۲-۴: نمودار L_{min} بر حسب r_{min} [۱۸]..... ۱۸
- شکل ۲-۵: مدلسازی یک بعدی مجموعه سازه- شمع- خاک (روش وینکلر) [۱۴]..... ۲۰
- شکل ۳-۱- شکل شماتیک از آرایش ذرات خاک ماسه ای اشباع [۳۷]..... ۲۵
- شکل ۳-۲- کاربرد خط CVR به عنوان مرز بین خاک مستعد روانگرا و غیرمستعد روانگرا (σ'_{3c} : تنش موثر همه جانبه اولیه) [۳۸]..... ۲۹
- شکل ۳-۳- روانگرایی محدود و اتساع در آزمایش با بارگذاری یکنواخت [۳۸]..... ۲۹
- شکل ۳-۴- رفتار زهکشی نشده ماسه Toyoura در حالت الف) سست، ب) نیمه متراکم، ج) متراکم [۳۸]..... ۳۰
- شکل ۳-۵- خط حالت پایدار در صفحه $e - \tau - \sigma'$ [۳۸]..... ۳۱
- شکل ۳-۶- همبستگی بین مقاومت سیکلی و عدد SPT [۳۹]..... ۳۲
- شکل ۳-۷- تاریخچه عدد SPT برای خاکهای غیرچسبنده با درصد ریزدانه بین ۵ تا ۱۸ درصد و منحنی های ارائه شده برای ماسه تمیز و ماسه با درصد ریزدانه ۱۵ درصد [۴۱]..... ۳۳
- شکل ۳-۸- مقایسه شماتیک دو روش برای اعمال بار ناشی از حرکت جانبی خاک [۴۲]..... ۳۴
- شکل ۳-۹- رابطه بین ضریب m_p و نسبت اضافه فشار آب حفره ای [۴۲]..... ۳۵

- شکل ۳-۱۰- توزیع فشار جانبی بر اساس JRA [۴۳]..... ۳۶
- شکل ۴-۱- الف- بارهای شمع ، ب- مقاومت خاک و تغییر شکل شمع [۱۳]..... ۴۰
- شکل ۴-۲- علامت مثبت قراردادی برای $p'_z(Z)$ ، $V_z(Z)$ ، $M_z(Z)$ ، $\theta_z(Z)$ ، $x_z(Z)$ [۱۳]..... ۴۲
- شکل ۴-۳- متغیرهای A_x ، B_x ، A_m ، B_m برای مقادیر مختلف Z_{max} [۱۳]..... ۴۳
- شکل ۴-۴- ضرایب مقادیر A و B [۱۳]..... ۴۵
- شکل ۴-۵- هندسه گوه مقاوم نزدیک سطح زمین و نیروهای آن برای بار جانبی شمع (ریس، ۱۹۵۸) [۹]..... ۴۶
- شکل ۴-۶- تعاریف طرح p-y (الف) شمع بدون بار ، ب) شمع تحت بار جانبی با مقاومت بسیج شده (تامپسون ۱۹۷۷) [۹]..... ۴۷
- شکل ۴-۷- منحنی نمونه p-y ، همراه با افزایش سختی با عمق (میر و ریس ۱۹۷۹) [۹]..... ۴۷
- شکل ۴-۸- شکل مشخصه منحنی p-y در رس نرم الف) بارگذاری استاتیکی ب) بارگذاری سیکلی (متلوک ۱۹۷۰) [۹]..... ۴۸
- شکل ۴-۹- منحنی های دینامیکی p-y ارائه شده توسط الناگار در سال ۲۰۰۰ در عمق ۱/۵ متری الف) برای مدل هیپربولیک و ب) مدل منحنی p-y که در آن که در آن p_p : دانسیته شمع ، p_s : دانسیته خاک ، P_{ult} : بار نهایی جانبی شمع [۴۷]..... ۴۹
- شکل ۴-۱۰- منحنی های دینامیکی p-y ارائه شده توسط الناگار در عمق ۳ متری ، الف) برای مدل هیپربولیک و ب) مدل منحنی p-y [۴۷]..... ۵۰
- شکل ۴-۱۱- مدل های میرایی شعاعی یک بعدی و سه بعدی (گازتاس و دوبری، ۱۹۸۴) [۵۱]..... ۵۲
- شکل ۵-۱- مراحل انجام محاسبات در نرم افزار FLAC2D [۴۸]..... ۵۸
- شکل ۵-۲- انواع شرایط مرزی و بارگذاری دینامیکی موجود در FLAC [۴۸]..... ۵۹
- شکل ۵-۳: مدل تحلیل دینامیکی سازه های سطحی با در نظر گرفتن مرزهای میدان آزاد [۴۸]..... ۶۱
- شکل ۵-۴- رفتار فنر برشی در المان شمع [۴۸]..... ۶۳
- شکل ۵-۵- رفتار فنر نرمال در المان شمع [۴۸]..... ۶۴
- شکل ۵-۶- نشانه قراردادی برای مقاومت فنر نرمال..... ۶۵
- شکل ۵-۷- مدل مفهومی جهت تخمین پارامترهای فنر نرمال..... ۶۶
- شکل ۵-۸- نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابجایی نرمال نسبی در عمق ۴/۵ متری..... ۶۸
- شکل ۵-۹- نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابجایی نرمال نسبی در عمق ۶ متری..... ۶۹
- شکل ۵-۱۰- نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابجایی نرمال نسبی در عمق ۷/۵ متری..... ۷۰
- شکل ۵-۱۱- نمودار معیار مقاومت نرمال لایه با تراکم نسبی ۰/۵۵..... ۷۱
- شکل ۵-۱۲- نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابجایی نرمال نسبی در عمق ۹/۵ متری..... ۷۲
- شکل ۵-۱۳- نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابجایی نرمال نسبی در عمق ۱۰/۵ متری..... ۷۳
- شکل ۵-۱۴- نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابجایی نرمال نسبی در عمق ۱۱/۵ متری..... ۷۴
- شکل ۵-۱۵- نمودار معیار مقاومت نرمال لایه با تراکم نسبی ۰/۸۰..... ۷۵
- شکل ۶-۱- شتابنگاشت زلزله کوبه ۱۹۹۵ ، استفاده شده در این تحقیق..... ۷۷
- شکل ۶-۲- هندسه مدل..... ۷۸

- شکل ۳-۶- سطح تسلیم معیارهای موهر کولمب و ترسکا [۵۳]..... ۷۹
- شکل ۴-۶- کانتورهای تنش در جهت Y (σ_{yy})..... ۸۲
- شکل ۵-۶- کانتورهای فشار آب حفره ای..... ۸۲
- شکل ۶-۶- مدل مرحله سوم مدلسازی..... ۸۳
- شکل ۷-۶- منحنی تنش- کرنش در لایه غیرروانگرا..... ۸۴
- شکل ۸-۶- منحنی تنش- کرنش در لایه روانگرا..... ۸۴
- شکل ۹-۶- تغییرات فشار آب حفره ای و تنش موثر نسبت به زمان..... ۸۵
- شکل ۱۰-۶- لنگر خمشی وارد به شمع نسبت به عمق با سر آزاد در ثانیه ۱۱/۲ پس از زلزله..... ۸۶
- شکل ۱۱-۶- تغییر شکل جانبی شمع نسبت به عمق با سر آزاد در ثانیه ۱۱/۲ پس از زلزله..... ۸۶
- شکل ۱۲-۶- لنگر خمشی وارد به شمع نسبت به عمق با سرگیردار در ثانیه ۱۱/۲ پس از زلزله..... ۸۷
- شکل ۱۳-۶- تغییر شکل جانبی شمع نسبت به عمق با سرگیردار در ثانیه ۱۱/۲ پس از زلزله..... ۸۷
- شکل ۱۴-۶- هندسه مدل با ضخامت لایه روانگرا ۱۰/۱ متر..... ۸۸
- شکل ۱۵-۶- هندسه مدل با ضخامت لایه روانگرا ۱۱/۱ متر..... ۸۸
- شکل ۱۶-۶- لنگر خمشی وارد به شمع نسبت به عمق با افزایش ضخامت لایه روانگرا..... ۸۹
- شکل ۱۷-۶- تغییر شکل جانبی شمع نسبت به عمق با افزایش ضخامت لایه روانگرا..... ۸۹
- شکل ۱۸-۶- هندسه مدل با شیب ۰.۲٪..... ۹۰
- شکل ۱۹-۶- هندسه مدل با شیب ۰.۴٪..... ۹۰
- شکل ۲۰-۶- هندسه مدل با شیب ۰.۶٪..... ۹۱
- شکل ۲۱-۶- لنگر خمشی وارد به شمع نسبت به عمق با افزایش شیب لایه روانگرا..... ۹۲
- شکل ۲۲-۶- تغییر شکل جانبی شمع نسبت به عمق با افزایش شیب لایه روانگرا..... ۹۲
- شکل ۲۳-۶- هندسه مدل..... ۹۳
- شکل ۲۴-۶- لنگر خمشی وارد به شمع نسبت به عمق..... ۹۴
- شکل ۲۵-۶- تغییر شکل جانبی شمع نسبت به عمق..... ۹۴

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳۶	جدول ۱-۳-مقادیر پیشنهادی مقاومت برشی خاک روانگرا بر اساس تحقیقات سید و هاردر در سال ۱۹۹۰ [۴۴].....
۴۲	جدول ۱-۴-مقادیر ضرایب برای شمعهای بلند [۱۳].....
۴۳	جدول ۲-۴-مقادیر نماینده n_h [۱۳].....
۶۷	جدول ۱-۵- خصوصیات خاک.....
۷۱	جدول ۲-۵-نیروی نرمال ماکزیمم بر واحد طول و حاصلضرب تنش موثر همه جانبه ماکزیمم در محیط شمع برای ماسه با تراکم نسبی ۵۵٪ در عمق های ۴/۵ ، ۶ و ۷/۵ متری.....
۷۱	جدول ۳-۵- پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و خاک با تراکم نسبی ۵۵٪.....
۷۴	جدول ۴-۵-نیروی نرمال ماکزیمم بر واحد طول و حاصلضرب تنش موثر همه جانبه ماکزیمم در محیط شمع برای ماسه با تراکم نسبی ۸۰٪ در عمق های ۹/۵ ، ۱۰/۵ و ۱۱/۵ متری.....
۷۵	جدول ۵-۵- پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و خاک با تراکم نسبی ۸۰٪.....
۷۶	جدول ۶-۵- پارامترهای سطح مشترک شمع و خاک.....

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- پیشگفتار

زلزله سبب ایجاد آسیب و خسارت به سازه‌های مختلف شده و تلفات جانی بسیاری به همراه دارد. پیش بینی زمان دقیق زلزله تا حد زیادی موجب کاهش تلفات جانی می‌شود اما این امر فعلاً مقدور نمی‌باشد. بنابراین طراحی سازه‌ها می‌بایست به گونه‌ای باشد که بر اثر زلزله پایدار بماند. چرا که خرابی سازه‌هاست که سبب تلفات جانی می‌شود و نه وقوع زلزله. معمولاً خرابی سازه‌ها در اثر زلزله به علت ضعف سازه و عملکرد نامناسب آن، خرابی شالوده و یا ترکیبی از هر دو اینهاست. در اشکال ۱-۱ الف و ب نمونه‌ای از خرابی ساختمان در اثر عدم جوابگویی شالوده و در شکل ۱-۱ ج نمونه‌ای از خرابی یک ساختمان به علت مشکلات سازه‌ای آنها را نشان می‌دهد. رفتار شالوده در هنگام زلزله تحت تاثیر مستقیم پاسخ دینامیکی خاک در اثر زلزله قرار می‌گیرد [۱].



شکل ۱-۱ الف : واژگونی یک ساختمان در زلزله سال ۱۹۹۹ در کوسلی ترکیه ، ب: خرابی یک ساختمان بلند در زلزله کوبه ، ج: خرابی یک ساختمان مسکونی در طی زلزله سال ۲۰۰۱ هند [۲]

۱-۲- روانگرایی^۱ و اثرات آن بر شمع‌ها

ارائه تعریفی موجز و مناسب از روانگرایی همواره موضوع مناظره میان متخصصین ژئوتکنیک بوده است. روانگرایی خاک و گسیختگی های مربوط به آن که معمولاً در زلزله های بزرگ رخ می دهد، به کاهش مقاومت برشی خاکهای دانه ای اشباع در اثر شکل گیری و افزایش فشار آب حفره ای حین بارگذاری دینامیکی اطلاق می شود. در تعریفی دقیق تر روانگرایی پدیده ای است که در آن توده خاک تحت بارگذاری های یکنواخت، متناوب و یا ناگهانی مقدار زیادی از مقاومت برشی خود را از دست می دهد و در حالتی مایع گونه جریان می یابد تا زمانی که تنشهای برشی وارد بر آن به میزان مقاومت برشی کاهش یافته تقلیل یابد. در نگاهی کلی تر تغییر حالت خاک از جامد به مایع، در نتیجه افزایش فشار آب حفره ای و کاهش تنش موثر روانگرایی نامیده می شود [۳]. طراحی لرزه ای پی شمعی در خاکهای روانگرا، مسائل و مشکلات بسیار پیچیده ای را در آنالیز و طراحی به وجود می آورد. در خاکهای با پتانسیل روانگرایی، حتی قبل از آنکه خاک در حالت روانگرایی کامل و سختی خاک در حالت مینیمم قرار گیرد، پی شمعی ممکن است در معرض تکانهای قابل توجهی قرار گیرد. در طول زمان تکان خوردن، شمع مستعد هرگونه آسیب (شامل گسترش ترکها، ایجاد مفصل و نهایتاً شکست) می باشد [۴]. این آسیبه ها را می توان در دو بازه زمانی متفاوت بررسی کرد. اول در طول مدت زلزله و دوم پس از وقوع زلزله که در اثر حرکت توده خاک در زمین های شیبدار (گسترش جانبی^۲) می باشد. همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می شود حتی در زمین های شیبدار قبل از وقوع گسترش جانبی، ممکن است در یک لحظه اتکای جانبی شمع از بین برود و در اثر کاهش تنش های موثر و مقاومت برشی خاک، کمانش در شمع رخ دهد [۲]. هم چنین در محدوده زمانی دوم، پس از زلزله، روانگرایی منجر به افزایش قابل توجه تغییر مکان سرشمع نسبت به حالت غیر روانگرا می شود. اگر پس از روانگرایی، مقاومت باقیمانده خاک از تنشهای برشی استاتیکی به وجود آمده در اثر شیب یا یک سطح آزاد مثل ساحل رودخانه کمتر باشد، گسترش جانبی قابل توجه یا جابه جایی شیب، ممکن است اتفاق بیفتد. در حین گسترش جانبی، توده خاک می تواند فشارهای ویران کننده ای را روی شمع ها اعمال کند که منجر به خرابی کامل آنها شود. در طول زلزله های ۱۹۶۴ نیگاتا^۳ و ۱۹۹۵ کوبه، چنین خرابیهای رایج و معمول بوده است [۴].

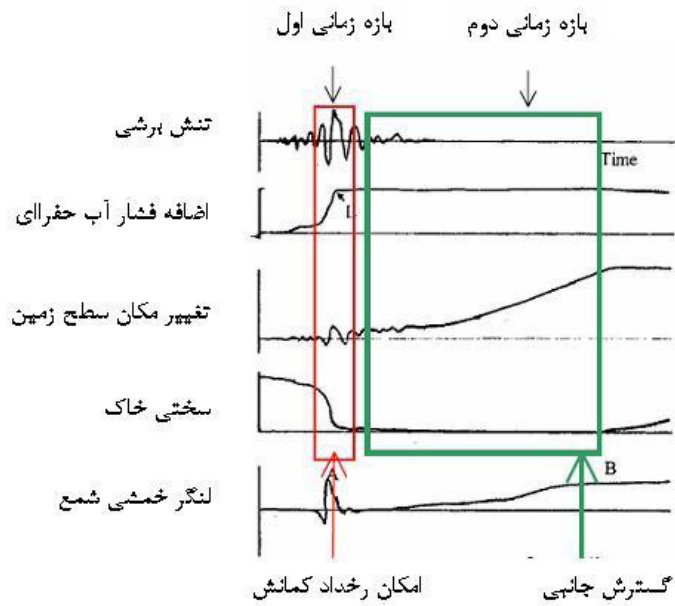
از طرف دیگر اگر یک لایه غیر روانگرا روی خاک روانگرا حرکت کند، گسترش جانبی بسیار مخرب تر می باشد [۲]. در شکل ۱-۳ خرابی شمع های پل یاچیو^۴ در اثر گسترش جانبی مشاهده می شود. بررسی های انجام شده پس از زلزله نشان داد که خرابی شمع ها در عمق هشت متری و در انتهای لایه روانگرا رخ داده است که ناشی از گسترش جانبی ۲ تا ۵ متری توده خاک به سمت رودخانه می باشد [۵].

¹ Liquefaction

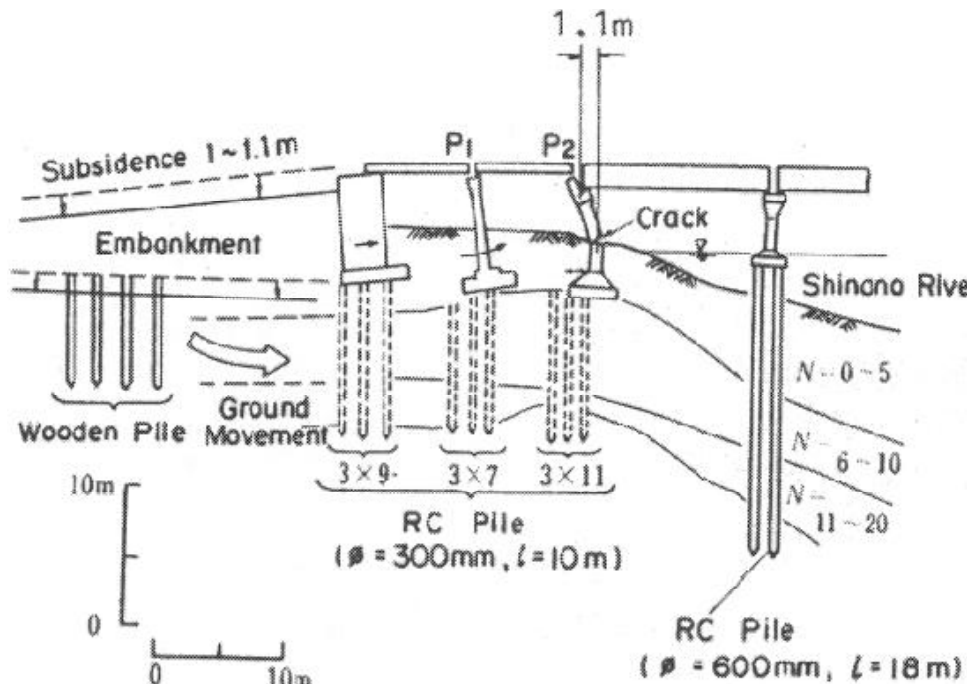
² Lateral spreading

³ Niigata

⁴ Yachiyo



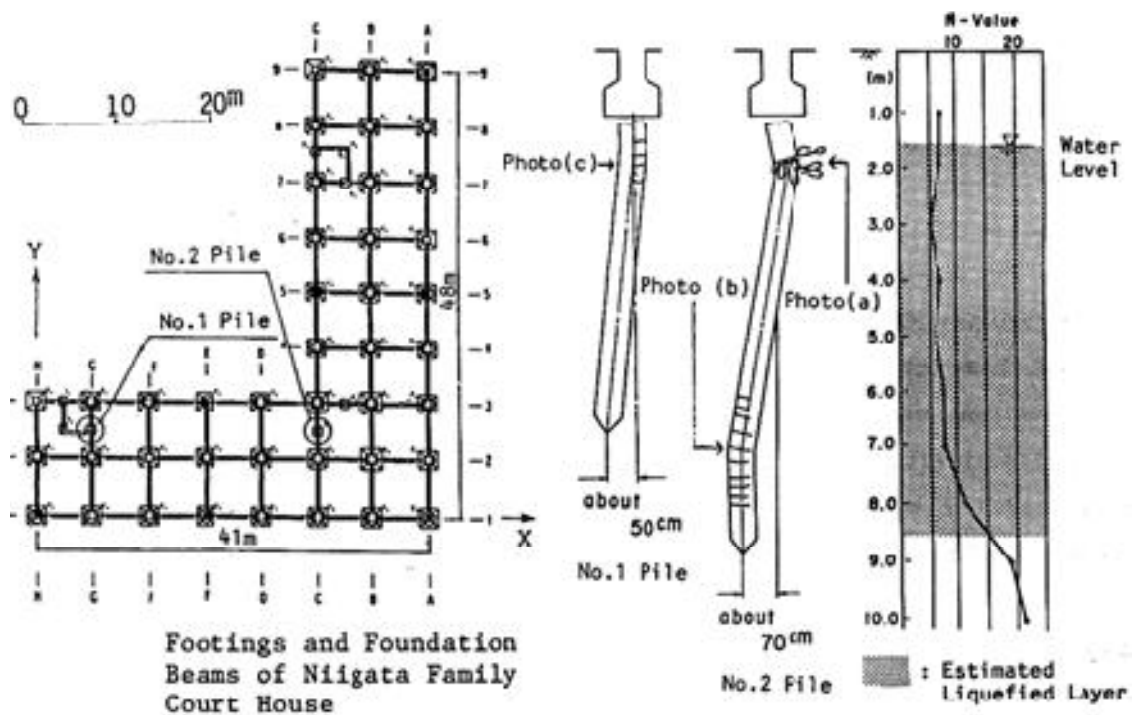
شکل ۱-۲- تاریخچه زمانی پارامترهای مختلف بر اساس تحقیقات یاسودا و بریل^۱ که تغییرات عوامل مختلف موثر بر روی مقاومت شمع ها در هنگام وقوع زلزله را نشان می دهد [۲].



شکل ۱-۳- خرابی شمع پل یاچیو در اثر گسترش جانبی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا [۵]

¹ Yasuda and Berrill

بنابراین خرابی سازه ای شمع‌های عبور کننده از لایه های خاک با پتانسیل روانگرایی که در بسیاری از زلزله‌های بزرگ اخیر مشاهده شده است (شکل ۴-۱ و شکل ۵-۱) نشان می دهد که نیروهای اعمالی به شمع‌ها، بسیار بیشتر از پیش بینی طراحی و یا آیین نامه‌ای آنها بوده است. همه آیین نامه‌های طراحی به ظاهر ضریب اطمینان بالایی را در بارهای اعمالی و یا مقاومت مصالح در نظر می‌گیرند به عبارت دیگر نیروهایی که در طراحی منظور می شود با توجه به ضریب اطمینان موجود در طرح، بیشتر از نیروهای پیش بینی شده است. پس ممکن است روش‌های طراحی همخوانی مناسبی با ساز و کار فیزیکی که موجب شکست شمع می شود نداشته باشد [۶]. برای شناخت بهتر موضوع به بررسی بیشتر خرابی شمع‌ها در سه زلزله مختلف می پردازیم:



شکل ۴-۱- خرابی شمع در ساختمان NFCH طی زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا [۲]



شکل ۱-۵- شکست شمع مشاهده شده پس از حفاری ساختمان NHK بعد از زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا [۲]

۱-۱-۱- زلزله های نیگاتا و آلاسکا^۱ در سال ۱۹۶۴

در این دو زمین لرزه، در اثر گسترش جانبی خاک روانگرا، خساراتی به سازه های متکی بر شمع وارد گردید (شکل ۱-۶). همچنین کاهش سختی جانبی فونداسیون های شمعی در خاک های روانگرا در ترکیب با نیروهای ایجاد شده توسط حرکات خاک، باعث وارد آمدن خسارات اساسی، مخصوصاً در پل ها گردید [۷].

¹ Alaska



شکل ۱-۶- خم شدن یک پل راه آهن در زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا در اثر شکست شمع های زیر پایه پل [۷]

۱-۱-۲- زلزله لوماپریتا^۱ در ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹

این زلزله با بزرگی ۷ ریشتر خرابی‌های شدیدی را بر سازه های متکی بر پی‌های شمعی ایجاد نمود. در برخی از این سازه‌ها، وجود لایه های خاک از دو نوع نرم و سخت در کنار هم، سبب ایجاد دو مکانیزم حرکتی متفاوت و در نهایت خرابی سازه شده بود. این زلزله که در بندر اوکلند و بندر سان فرانسیسکو اتفاق افتاد، همچنین خسارات شدیدی را به تاسیسات این بنادر وارد نمود. در بیشتر سازه های شمعی در کنار دریا، بدون آنکه خسارات قابل توجهی به روسازه وارد گردد، شمعها دچار آسیبهای متعددی شدند. در طول گسترش جانبی خاک روانگرا، پوشش خاک غیر روانگرا (یعنی لایه‌ای که بالاتر از سطح آب زیرزمینی قرار داشت) به همراه خاک روانگرا شروع به حرکت به سمت دریا نمود. جزئیات خرابی‌های ایجاد شده نشان داد که بیشتر خسارات وارده به شمع در بخش مدفون آنها و نقاطی به جز محل سرشمعها رخ داده است. توسعه کرنش‌های بزرگ در لایه روانگرا باعث ایجاد لنگرهای خمشی بزرگی در نزدیکی فصل مشترک لایه روانگرا و غیر روانگرا در طول شمع شده، که موجب خمیدگی قابل توجهی در این نقطه می‌گردد. این مساله بدلیل تفاوت در سختی خاک‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، مقاومت افقی شمع تغییراتی جدی در طول شمع خواهد داشت. همانطور که در شکل ۱-۷ مشاهده می‌شود، فاصله ایجاد شده بین شمع و خاک اطراف، نشان دهنده کم بودن مهار جانبی شمع بوده و بدین ترتیب (با توجه به شکل ۱-۸) نوعی گسیختگی برشی - خمشی در شمع به وجود آمده است [۷].

¹ Loma-prieta



شکل ۷-۱- شکاف ایجاد شده بین شمع و خاک در بزرگراه استراو در اثر زلزله لوماپریتا [۷]



شکل ۸-۱- گسیختگی برشی سر شمع در بزرگراه استراو در اثر زلزله لوماپریتا [۷]