٤٢٣١٩

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

بررسی رفتار سیکلیک ماسه‌های اشباع در بارگذاری سه محوری کششی

نگارش:

هادی بهادری

۱۳۸۱ /۸/ ۶

استاد راهنما:

دکتر عباس قلندرزاده

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران - خاک و پی

۴۲۵۱۶

شهریور ۱۳۸۱

صفحه تصویب پایان‌نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

بررسی رفتار سیکلیک ماسه اشباع در دستگاه سه محوری کششی

توسط:

هادی هاری

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: مهندسی عمران گرایش: خاک و پی

از این پایان‌نامه در تاریخ ۸۱/۶/۲۷ در مقابل هیئت داوران دفاع بعمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده:

مدیر گروه آموزشی:

استاد راهنما: عباس تدین

استاد مشاور:

داور مدعو:

داور داخلی:

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

و

استاد بزرگوار دکتر قلندرزاده

نام خانوادگی:	هادی بهادری
شماره دانشجویی:	۸۱۰۲۷۹۰۴۸
رشته تحصیلی و گرایش:	مهندسی عمران – خاک و پی
گروه:	عمران
مقطع تحصیلی:	کارشناسی ارشد
تاریخ دفاع:	۱۳۸۱/۶/۲۷
استاد راهنما:	دکتر قلندرزاده

چکیده:

بمنظور بررسی رفتار ماسه‌های اشباع در برابر بارگذاری‌های تناوبی (سیکلیک) دستگاه سه محوری Weselly–Bishop بگونه‌ای تکمیل و بازسازی شده است که امکان انجام آزمایش‌های سیکلیک سه محوری با مفهوم کامل آن در حالت‌های مختلف امکان‌پذری گردیده است. تکمیل قسمت کنترل با اضافه نمودن ترانسدیوسرهای کنترلی EP ، تصحیح قسمت فوقانی سلول بمنظور ایجاد امکان تست‌های کششی و همچنین نوشتن یک برنامه جامع کامپیوتری برای اجرای کنترل اتوماتیک آزمایش در قالب پروژه حاضر انجام گرفته‌اند. تعدادی آزمایش سه محوری سیکلیک در حالت‌های تحکیم همسان و تحکیم غیر همسان در ناحیه فشاری و کششی با تست‌های تنش برشی (CSRهای) مختلف روی ماسه فیروزکوه انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که قابلیت روانگرایی ماسه‌ها به شدت تحت تأثیر جهت تنش‌های اصلی و همچنین میزان تغییر جهت تنش‌ها (Stress Reversal) قرار دارد. این امر نشان دهندهٔ تأثیر عامل غیرهمسانی ذاتی در ذرات ماسه است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که وقتی تنش برشی تناوبی در ناحیه کششی به نمونه وارد می‌شود نمونه قابلیت روانگرایی بیشتری دارد. اهمیت این موضوع در آن است که معمولاً در روش‌های مهندسی موجود از آزمایش‌های سه محوری سیکلیک در حالت فشاری استفاده می‌شود که می‌تواند نتایج بسیار غیر محافظه‌کارانه‌ای را ارائه نماید. همچنین در بارگذاری‌های باتغییر جهت تنش در حالتی که نمونه بصورت همسان تحکیم یافته است نیز تفاوت رفتار ماسه در دو جهت مختلف بارگذاری کششی و فشاری کاملاً محسوس است بگونه‌ای که تغییر شکل‌های ایجاد شده در نمونه در ناحیه کششی بازای یک تنش برشی یکسان با حالت فشاری، بسیار بیشتر است. حتی در مواردی نمونه در مود فشاری رفتاری شبیه به جابجایی تناوبی (Cyclic Mobility) و در مود کشش در همان آزمایش رفتار مشابه روانگرایی تناوبی (Cyclic Liquefaction) دارد.

فصل اول: مقدمه

۱- مقدمه ۱

فصل دوم: بررسی ادبیات فنی

۲- بررسی ادبیات فنی ۳

۲-۱) تاریخچه..... ۳

۲-۲) مفاهیم موجود ۳۴

۲-۳) فاکتورهای موثر بر پتانسیل روانگرایی ۳۵

۲-۳-۱) اثر روش ساخت نمونه ۳۵

۲-۳-۲) اثر بارگذاری و تکنیک های ضبط داده ۳۷

۲-۳-۳) اثر متغیرهای اولیه در حالت بارگذاری استاتیکی ۳۸

۲-۳-۳-۱) اثر متغیرهای حالت اولیه ۳۸

۲-۳-۳-۲) اثر جهت بارگذاری و سیستم تنش..... ۳۹

۲-۳-۳-۳) اثر تاریخچه کرنش ۴۲

۲-۴- بارگذاری تناوبی وفاکتورهای موثر بر رفتار تناوبی..... ۴۴

۲-۴-۱- مقدمه..... ۴۴

۲-۴-۲- اثر متغیرهای حالت اولیه ۴۶

فصل سوم: معرفی دستگاه آزمایش-سیستم اندازه گیری و کنترل-نرم افزار -مصالح مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش

۳- معرفی دستگاه آزمایش-سیستم اندازه گیری و کنترل-نرم افزار-مصالح مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش ۴۸

۳-۱) دستگاه آزمایش سه محوری مسیر تنش(Bishop-Wesely)..... ۴۸

۳-۱-۱) معرفی کلی و نحوه ایزولاسیون σ_1 و σ_3 ..... ۴۸

۳-۱-۲) مدارفشار..... ۵۱

۳-۱-۲-۱) منبع فشار ۵۱

۳-۱-۲-۲- رگولاتورها و پانل دستگاه ۵۳

۳-۱-۲-۳- بورت و سیستم اعمال پس فشار ۵۳

۳-۱-۲-۴- شکل شماتیک مدار فشار..... ۵۴

۳-۱-۳- مدار CO_2..... ۵۴

۳-۱-۴- شمای کلی دستگاه و ابزارهای جانبی ۵۵

۳-۲- سیستم اندازه گیری و مدار کنترلی ۵۶
۳-۲-۱- معرفی مفهوم کنترل بسته و اندازه گیری ۵۶
۳-۲-۲- معرفی اجزای مدار کنترلی ۵۷
۳-۲-۲-۱- سنسورها ۵۷
۳-۲-۲-۲- مدولهای اعمال تنش (E/P) ۵۸
۳-۲-۲-۳- دیتالاگر ۵۹
۳-۳- معرفی برنامه ۶۰
۳-۳-۱- نحوه اعمال کنترلها ۶۰
۳-۳-۲- قابلیتهای پیش بینی شده در برنامه ۶۱
۳-۴- مصالح مورد استفاده ۶۴
۳-۴-۱- معرفی ماسه سیلیسی شماره ۱۶۱ فیروزکوه و مقایسه آن با دو ماسه استاندارد شناخته شده ۶۴
۳-۴-۲- مقدمه ۶۴
۳-۵- نحوه انجام آزمایش ۶۷
۳-۵-۱- مقدمه ۶۷
۳-۵-۲- کالیبراسیون سنسورها ۶۷
۳-۵-۳- هواگیری، آب بندی و کنترل غشاء ۶۸
۳-۵-۴- آماده سازی نمونه ۶۸
۳-۵-۵- اشباع نمونه ۶۹
۳-۵-۶- تحکیم نمونه ۷۰
۳-۵-۷- تغییرات مقدار غیرهمسانی ۷۰
۳-۵-۸- برش ۷۰
۳-۵-۹- مرحله نهائی ۷۱
۳-۵-۱۰- کنترل و محاسبه نسبت تخلخل نمونه ها ۷۱
فصل چهارم: ارائه تجزیه و تحلیل و نتیجه آزمایشها
۴- ارائه تجزیه و تحلیل و نتیجه آزمایشها ۷۴
٤-۱- شرایط عمومی تست‌ها ۷٤
٤-۲- الگوی آزمایش‌های انجام شده ۷۵
٤-۲-۱- الگوی تست‌های با تحکیم همسان ۷۵

٤-٢-٢- الگوی آزمایش‌های با تحکیم غیرهمسان در حالت کششی ٧٥
٤-٢-٣- الگوی آزمایش‌های با تحکیم غیرهمسان در حالت فشاری ٧٦
٤-٣- نتایج تست‌ها ٧٧
۴-۴- تشریح عمومی نتایج ۱۱۶
۴-۴-۱- اثر انیزوتروپی ۱۱۶
۴-۴-۲- اثر تغییر جهت تنش ۱۱۷
۴-۴-۳- بررسی رفتار تناوبی با منحنی‌های کرنش محوری – فشار آب حفره‌ای ۱۱۷
فصل پنجم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد
۵- جمع‌بندی و ارائه و پیشنهاد ۱۲۳
فهرست مراجع ۱۲۵

۱) مقدمه :

یکی از مسائلی که در مهندسی ژئوتکنیک مطرح است رفتار لرزه‌ای ماسه‌های اشباع می‌باشد پدیده‌های مختلفی در نهشته‌های ماسه‌ای اشباع در حین زلزله بوجود می‌آید که نشست زمین[1] ، پخش شدگی جانبی[2] ، بیرون‌زدگی سازه‌های زیرزمینی و جوشش ماسه‌ها از آن دسته‌آند.

تمام موارد فوق اهمیت بررسی رفتار ماسه‌های اشباع را بیان می‌کند لذا در بررسی ادبیات فنی ابتدا به ذکر خاستگاه‌های این بحث پرداخته می‌شود و در ادامه مطالعات آزمایشگاهی و طبقه‌بندی رفتارهای مختلف و عوامل مؤثر بر هر نوع رفتار تحت بارگذاری‌های گوناگون اعم از استاتیکی و دینامیکی در ماسه‌های شاباع بررسی خواهد شد.

از آنجا که بارگذاری ناشی از زلزله بسیار سریع است و امکان زهکشی در حین بارگذاری وجود ندارد لذا مطالعه رفتار برشی ماسه‌ها تحت شرایط اشباع و زهکشی نشده انجام می‌گیرد.

در راستای بررسی رفتار ماسه‌های اشباع در شرایط زهکشی نشده مطالعات فراوانی انجام گرفته است این مطالعات امروزه به یکسری متد مهندسی برآورد پتانسیل روانگرایی انجامیده است. برای برآورد پتانسیل روانگرایی که از مهترین مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای در یک منطقه است باید ابزاری فراهم باشد که بتوان با آن پتانسیل را سنجید. روابط و گراف‌هایی برای ماسه‌های گوناگون توسط محققین مختلف برای این کار تهیه شده‌اند. اما از آنجا که یکی از پارامترهای بسیار با اهمیت فابریک خاک و انیزوتروپی ذاتی خاکهای دانه‌ای محتمل برای روانگرایی می‌باشد لذا استفاده چشم‌بسته از گراف‌های موجود چه بسا ما را به خطا پیش برد. لذا تمام مناطقی که این مطالعات برای آنها حائز ارزش است می‌بایست خاک مورد نظر منطقه را مورد ارزیابی قرار دهند. از آنجا که کشور ما از لرزه‌خیزترین مناطق جهان بشمار می‌رود مطالعات پهنه‌بندی و اثرات ساختگاه در پروژه‌ها چندی است اهمیت بسزایی پیدا کرده است. از آنجا که روابط روانگرایی برای خاکهای کشور تعریف و استخراج نشده و از طرفی ابزار مناسب آزمایشی نیز وجود ندارد لذا مشکل عمده‌ای

1- Ground Subsidence

2- Lateral Spreading

در پیش رو است. در این راستا در پروژه حاضر سعی بر این قرار گرفت که اولاً دستگاه سه محوری مسیر تنش موجود با یکسری اصلاحات و تغییرات قابلیت تست‌های سه محوری تناوبی با کنترل تمام کامپیوتری را پیدا کند و برای این منظور برنامهٔ کامپیوتری کنترل سخت‌افزار مورد نیاز می‌باشد که بعنوان قسمتی از این تحقیق تعریف شد برای کنترل تنش‌ها از چهار سنسور و برای اعمال فشارها از ترانسدیوسرهای EP استفاده شد. استفاده از این نوع ترانسدیوسرهای برای اولین بار در کشور انجام شد و تست انجام شده نیز از معدود تست‌های انجام شده در این زمینه بشمار می‌رود. نهایتاً موضوع با اهمیت دیگری که وجود دارد پافشاری جهت استاندارد کردن یک ماسه برای مطالعات روی رفتارها و قابل مقایسه کردن تحقیقات پی در پی بود. بدین منظور مشابه پروژه دیگری که توسط آقای مهندس حقیقت قبل از انجام این تحقیق در دانشکدهٔ فنی به ثمر رسید از ماسه صنعتی فیروزکوه استفاده به عمل آمد نگرش دیگری که وجود دارد در زمینهٔ تهیهٔ مدلهای رفتاری است برای ارائهٔ مدل رفتاری و استفاده از آن در نرم‌افزارها و نهایتاً کمک‌گیری از این نرم‌افزارها در محاسبات پروژه‌ها نیاز به تست‌ها و آزمایشات فراوان روی رفتار خاکها در آزمایشگاههای مکانیک خاک می‌باشد.

رفتار بدست آمده و دیتای متناظر آن در صورتی که این نوع آزمایشات تداوم یابد می‌تواند پشتوانه خوبی برای تهیه مدلهای رفتاری باشد.

۲) بررسی ادبیات فنی

۲-۱) مقدمه:

رفتار ماسه های اشباع مورد بررسی است. در این راستا فعالیتهای زیادی انجام گرفته است. برای بررسی رفتار دو موضوع اهمیت می یابد: مدل رفتاری و معیار خرابی. در ماسه های اشباع با آزمایشات زهکشی نشده که موضوع مورد مطالعه است انواع حالتهای روانگرایی ماسه یعنی انواع معیارهای خرابی با توجه به انواع بارگذاری های انجام شده و ارتباط آنها مورد بررسی واقع می شود.

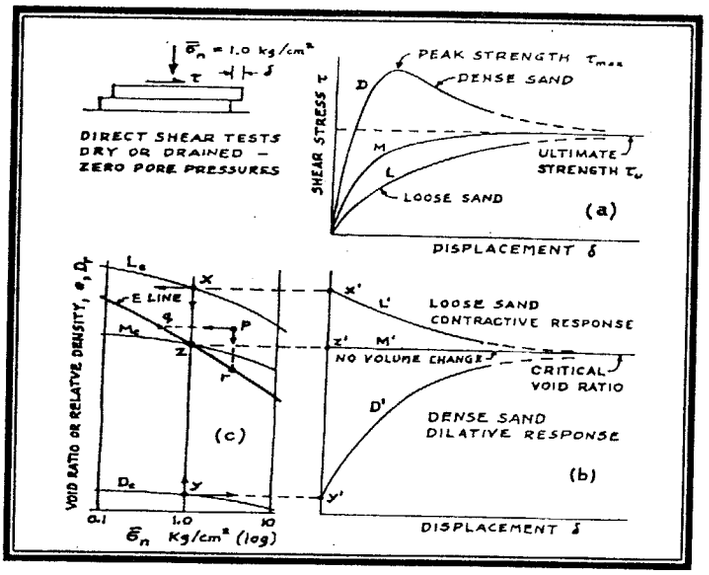
۲-۲) تاریخچه :

آقای هازن در ۱۹۲۰ در مطالعه چند لغزش اولین بار به افت شدید مقاومت رفتار روانگرا اطلاق کرد، اما این آقای ترازقی بود که در سال ۱۹۲۵ برای اولین بار واژه روانگرایی را به جامعه مهندسی معرفی کرد. او گفت: در اثر انتقال وزن ذرات جامد گسیخته شده به سیال اطراف و در نتیجه افزایش فشار آب هیدرواستاتیک و نزدیک شدن به وزن مخصوص خاک غوطه ور، خاک اشباع گسیخته و روانگرا می شود.

در سال ۱۹۳۶ نیز آقای کاساگرانده که در مورد علت گسیختگی سد Fort Pack صحبت می‌کرد، اعلام کرد : طی تغییر شکل زهکشی نشده، ماسه های شل یا کم تراکم به سمت یک دانسیته بحرانی یا نسبت تخلخل بحرانی پیش می‌روند که در آن خاک غیر چسبنده می‌تواند جاری شود بدون اینکه حجمش تغییر یابد. او اضافه کرد : اگر ماسه اشباع در حجم ثابت تحت برش قرار گیرد تمایل به تغییر حجم به تغییر در فشار حفره ای خواهد انجامید ، لذا ماسه در شرایط شل تر از تخلخل بحرانی یک افزایش فشار آب حفره ای تجربه خواهد کرد که باعث کاهش مقاومت برشی می‌شود و ممکن است به تغییر شکل‌های بزرگ توده خاک منجر می‌شود.

آقای کاساگرانده با انجام آزمایشهای برش مستقیم، خطی را معرفی کرد که در آن حجم خاک با ادامه تغییر شکل برشی ثابت می‌ماند و نسبت تخلخل های بیشتر از این مقدار مربوط به نمونهٔ شل و کمتر از این مقدار نمونه‌های این متراکم قلمداد می‌شود. این خط CVL نام گرفت .همچنین ایشان یکسری تست سه محوری

CD که در آن زمان تست S نامیده می‌شد ترتیب داد. او اصطلاح جابجایی تناوبی[1] را برای حرکت توده های ماسه در زلزله بکار برد. در شکل زیر مفهوم تخلخل بحرانی تفسیر شده است.



شکل۱- مفهوم تخلخل بحرانی در آزمایش برش مستقیم کاساگرانده

پس ازکار ارزشمند کاساگرانده وکنفرانس۱۹۴۰بوستون وگزارشات متعدد بروز لغزشها در جاهای گوناگون نهایتاً ترزاقی وپک رسماً واژه روانگرایی خودبخودی[2] را در ۱۹۴۸ وارد ادبیات مکانیک خاک کردند. آنها پدیده تغییر رفتار ماسه شل از جامد به سیال در اثر تحریک مختصر را روانگرایی خودبخودی نامیدند واین پدیده را مهمترین عامل عدم پایداری شیروانی های تشکیل یافته از ماسه های سیلت دار اعلام کردند .

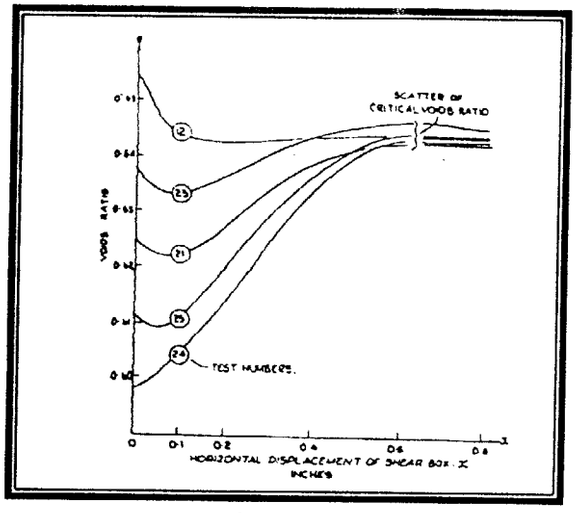
در این سال زلزله فوکویی در ژاپن رخ داد و توجه مهندسان را بار دیگر به پدیده های جدیدتر جلب کرد. برای نمونه در این نوع مشاهدات موگامی و کوبو در ۱۹۵۳ بودند که رفتار خاکها را در اثر ارتعاش مطالعه کردند .

لذا مساله اهمیت بیشتری پیدا کرد و نیاز به ارزیابی رفتار خاکها در زلزله نیز احساس شد. با اینحال مهمترین مشکل عدم وجود وسایل آزمایشگاهی برای انجام تست های دقیق روی ماسه ها بود .

در سالهای دهه ۵۰ کارهای فراوانی روی رسها انجام می‌شد ، عمدهٔ این کارها که با دستگاه برش ساده توسط آقای Roscoe انجام می‌شد به بررسی رفتار رسها متمرکز شده بود. یک نمونه از کارهای او با آقای Schofield که روی نمونه های ساخته شده از ساچمه‌های فولادی صورت گرفته در شکل زیر ملاحظه می‌گردد.

1- Cyclic Mobility

2- Spontaneous Liquefaction



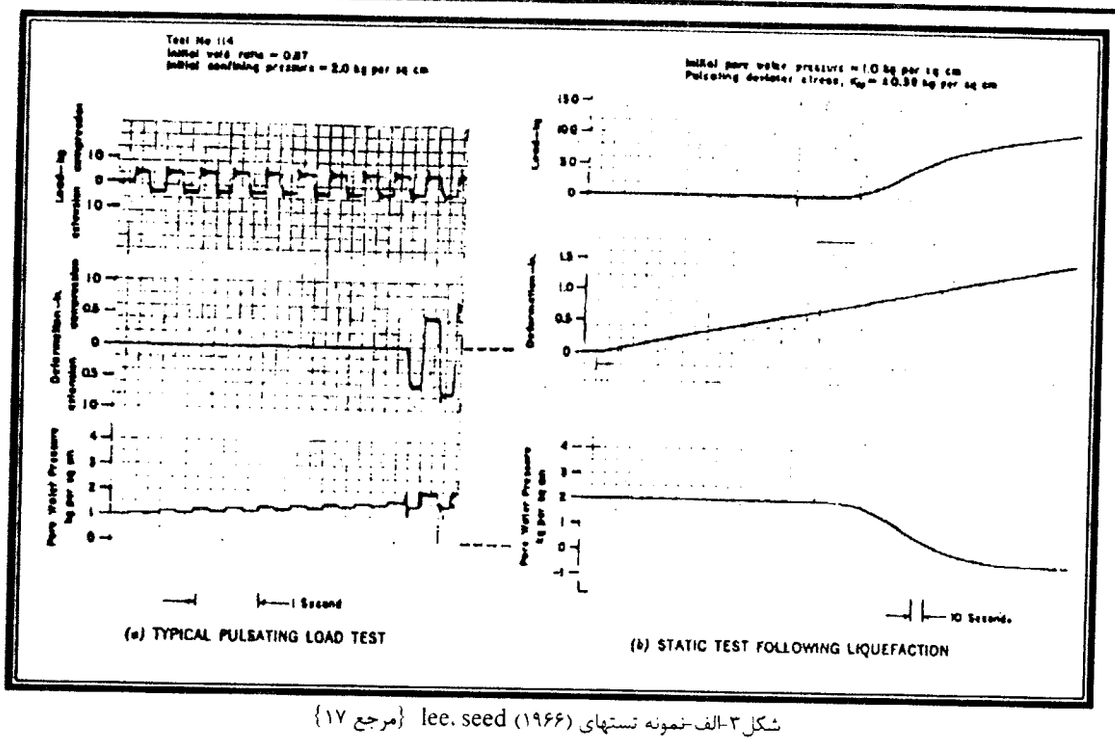
شکل۲- مفهوم تخلخل بحرانی در آزمایش روسکو

این مطالعات از دو جهت ارزشمند شناخته شد، یکی اینکه باعث بوجود آمدن روند پیشرفت در دستگاه های آزمایشگاهی شد و از سوی دیگر رفتار رسها در تغییر شکلهای بزرگ شناسایی شد و مبانی حالت بحرانی پی ریزی شد و در سال ۱۹۶۳ معرفی شد. آقای Bishop نیز در سالهای ۶۲ و۶۳ دستگاه سه محوری خود را طراحی کرد و نهایتاً فضای مناسبی فراهم شد تا رفتار ماسه ها نیز در تغییر شکل های بزرگ مشابه آنچه در طبیعت رخ می‌داد بررسی شود ، در این دستگاه امکان تست بصورت کنترل بار وجود دارد. آقای کاساگرانده در ادامه مباحث خود مفهوم ساختار سیال[1] را برای ماسه ها طرح کرده بود و در مورد آن مطالعه می‌کرد اما آنچه در این مقطع بسیار تکان دهنده بود چیزی نبود مگر زلزله نیگاتا در ۱۹۶۴. این زلزله را می‌توان اولین حادثه در جهان دانست که در آن تمام سازه های مدرن بشر یکباره ویران شد و علت اصلی آن روانگرایی بود. از این مقطع مطالعات در این مورد در ماسه ها وارد برهه جدیدی شد.

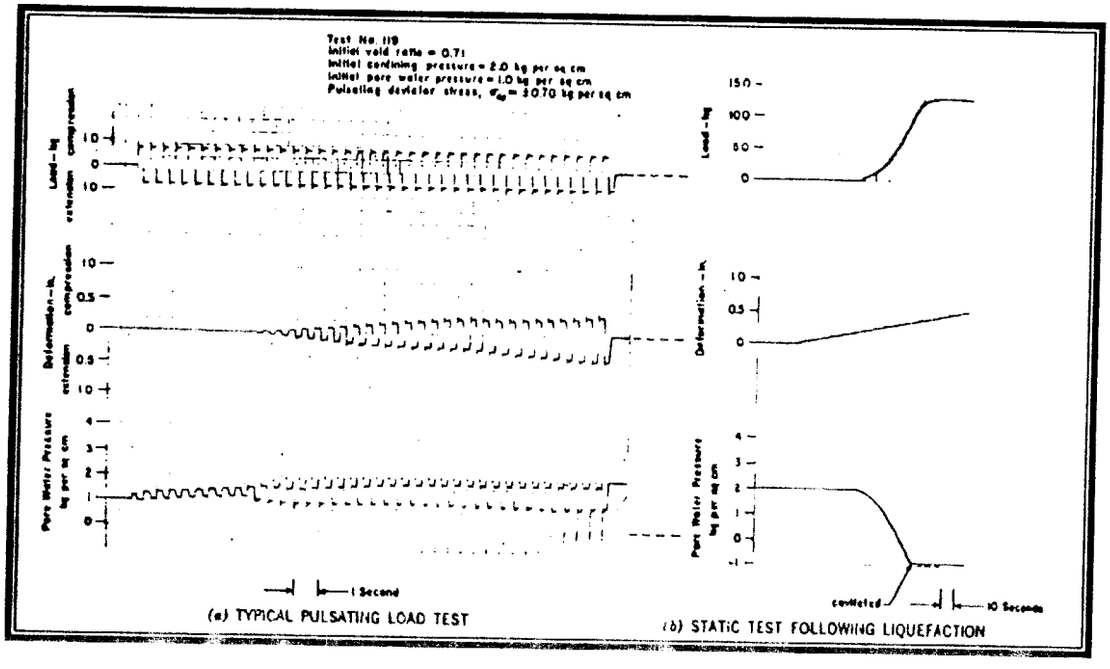
در ۱۹۶۶ آقایان Seed بهمراه Lee در دانشگاه کالیفورنیا یکسری تست سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده تناوبی که با اصطلاح CR معرفی شد ترتیب دادند. آنها با دستگاه سه محوری، روانگرایی ماسه های اشباع تحت بار تناوبی را بررسی کردند. در این زمان مفهوم روانگرایی اولیه[2] معرفی شد.

1- Flow Struction

2- Initial Liquefaction



شکل ۳-الف-نمونه تستهای (۱۹۶۶) lee، seed {مرجع ۱۷}



شکل ۳-ب-نمونه دیگری از تستهای lee، seed (۱۹۶۶)

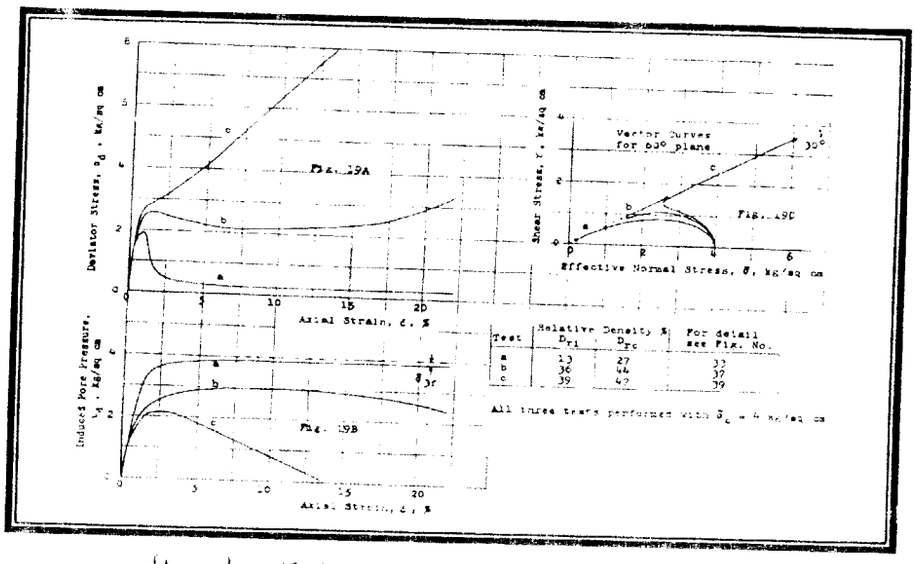
نتایج این تست ها در شکلهای ۳- الف وب نشان داده شده است. آنها بطور خلاصه، نتایج زیر را ارئه نمودند:

۱- تا چند سیکل اول کرنش های بوجود آمده در هر سیکل خیلی کوچک اند (کمتر از ۱٪) ولی فشار حفره ای افزایش تجمعی دارد.

۲- زمانی فرا می‌رسد که فشار آب حفره ای با تنش همه جانبه برابر می‌شود. این حالت، روانگرایی اولیه یا جزئی نام دارد. تعداد سیکل های مورد نیاز برای حصول این حالت به σ'_3،e و q بستگی دارد.

۳ - بعد از روانگرایی اولیه، کرنش های هر سیکل بعدی بزرگتر می‌شوند و در طول هر سیکل در باربرداری فشارحفره ای با فشار همه جانبه برابر است، اما در بارگذاری فشار افت می‌کند.
۴ - وقتی کرنش به ۲۰٪ رسید گفته می‌شود که روانگرایی کامل صورت پذیرفته است.

آنها نهایتاً به این نتیجه رسیدند که بعد از روانگرایی اولیه کرنشها برای نمونه های شل به سرعت افزایش می‌یابند ولی برای نمونه های متراکم به آرامی. مثلاً برای ماسه با Dr=0.38 فقط ۲ سیکل برای رسیدن به کرنش ۲۰٪ لازم است اما برای ٪ Dr =100 ، ۳۰۰۰ سیکل لازم است در حالیکه هر دو در سیکل نهم به روانگرایی اولیه رسیده اند.
آقای seed در سال ۶۸ بهمراه آقای Peacock تست تناوبی را روی دستگاه برش ساده آقای Roscoe تکرار کردند و اظهار کردند که این تست به شرایط طبیعت نزدیکتر است و نتیجه گرفتند که تنش برشی تناوبی لازم در این حالت ۳۵٪ مقادیر حاصل از تست سه محوره بود.
آقای کاساگرانده در ادامه بررسی مفهوم ساختار سیال در سال ۶۶ بر آن شد تا با دانشجوی خود کاسترو پایان نامه ای تحت عنوان روانگرایی ماسه ها در دانشگاه هاروارد کار کند. نتایج این تحقیقات که در سال ۱۹۶۹ توسط کاسترو دفاع شد حاوی پایه های بسیاری از دانسته های ما در مورد روانگرایی محسوب می‌شود. ابتدا آقای کاساگرانده ، پیشنهاد دستگاه پیچشی داد که البته این کار با پیشرفتهای امروزی نیز سخت است، لذا با پیشنهاد آقای پولوس دستگاه بصورت کنترل بار و تستهای R با سه محوری طراحی شد . در این تحقیق بسیار با ارزش ۳ نوع ماسه تست شد. ابتدا یکسری تست مونوتونیک بصورت زهکشی نشده صورت پذیرفت ، نتیجه کار به تقسیم رفتار ماسه به سه دسته گسیختگی روانگرایی(a) ، پاسخ انبساطی(c) و گسیختگی روانگرایی محدود(b) انجامید که در شکل ۴ بطور نمونه دیده می‌شود.



شکل ۴- تقسیم بندی انواع رفتار ماسه ها در نتیجه تستهای کاسترو [مرجع ۸]

از آنجا که کاسترو تست ها را در شرایط اولیه متفاوت e و σ'_3 انجام داد به نتیجه جالبی دست یافت. او فهمید که روانگراشدن فقط به تخلخل بستگی ندارد بلکه تنش همه جانبه نیز در پتانسیل روانگرایی نقش