



# مطالعه رفتار دینامیکی مصالح خاک سد رودبار لرستان

پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

گروه: مهندسی پی و ابنیه ژئوتکنیکی پژوهشکده ژئوتکنیک

آزمایشگاه مهندسی ژئوتکنیک - سال ۱۳۹۰

## مقدمه

پیرو قرارداد سال ۱۳۹۰ بین شرکت مهندسی توسعه آب تابان و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، انجام آزمایش های دینامیک خاک به منظور مطالعه پارامترهای تغییر شکلی و مقاومتی دینامیک خاک بر روی نمونه های هسته و فیلتر سد رودبار لرستان در دستور کار این پژوهشکده قرار گرفت.

انجام ۸ آزمایش ستون تشدید و ۹ آزمایش سه محوری تناوبی برای برآورد نحوه تغییر مدول برشی و نسبت میرایی در محدوده کرنش های کوچک و بزرگ روی مصالح هسته و همچنین ۶ آزمایش سه محوری تناوبی مقاومتی (روانگرایی) بر روی مصالح فیلتر سد در این پروژه انجام گردید.

علاوه بر این، جهت شناسایی مصالح مذکور، ۱۱ آزمایش دانه بندی و هیدرومتری، ۵ آزمایش حدود اتربرگ، ۲ آزمایش نفوذپذیری، ۱ آزمایش تراکم بر روی مصالح هسته و ۱ آزمایش نسبت تخلخل بیشینه و کمینه بر روی مصالح فیلتر سد نیز به آزمایش ها افزوده شد.

جدول زیر حاوی مشخصات کلی آزمایش های انجام شده می باشد:

ردیف	عنوان آزمایش	تعداد
۱	سه محوری تناوبی (تغییر شکل)	۹
۲	ستون تشدید	۸
۳	سه محوری تناوبی مقاومتی (روانگرایی)	۷
۴	دانه بندی و هیدرومتری	۱۱
۵	تعیین حد خمیری و روانی (اتربرگ)	۵
۶	آزمایش نفوذپذیری	۲
۷	آزمایش تراکم مصالح هسته	۱
۸	آزمایش نسبت تخلخل بیشینه و کمینه مصالح فیلتر	۱

## ۱- نحوه انجام آزمایش

تعداد ۹ نمونه تحت آزمایش سه محوری تناوبی (تغییر شکلی) بر مبنای استاندارد ASTM-D3999، ۸ نمونه تحت آزمایش ستون تشدید بر مبنای استاندارد ASTM-D4015 و ۷ نمونه تحت آزمایش سه محوری تناوبی (مقاومتی) بر مبنای استاندارد ASTM-D5311 انجام گرفته است.

### ۱-۱- آماده سازی نمونه ها

- جهت ساخت نمونه های مصالح هسته (GC) از داده های ذیل بهره برده شد:
- دانه بندی ارائه شده توسط کارفرما؛
- مصالح طبقه بندی شده ارسالی به آزمایشگاه؛
- استاندارد ASTM D1557 و لحاظ ۰.۹۵ درصد چگالی خشک بیشینه.

نمونه ها در ۵ لایه به صورت کوبشی توسط چکش لاستیکی در قالب ساخته شدند. برای ساخت نمونه های مصالح فیلتر نیز همان رویه فوق الذکر دنبال شد، لیکن به دلیل دانه ای بودن مصالح، آزمایش نسبت تخلخل کمینه و بیشینه (ASTM D4254) نیز انجام شد و سپس ضریب تراکم نسبی ۷۵٪ محاسبه و بر روی میز لرزان در ۵ لایه با وزن سرباره به صورت لرزشی ساخته شدند.

در شکل های زیر نحوه ساخت نمونه های مصالح هسته (GC) در قالب و همچنین ساخت نمونه های مصالح فیلتر روی میز لرزان نشان داده شده است.



نحوه ساخت نمونه با چکش تراکم

نحوه ساخت نمونه با میز لرزان

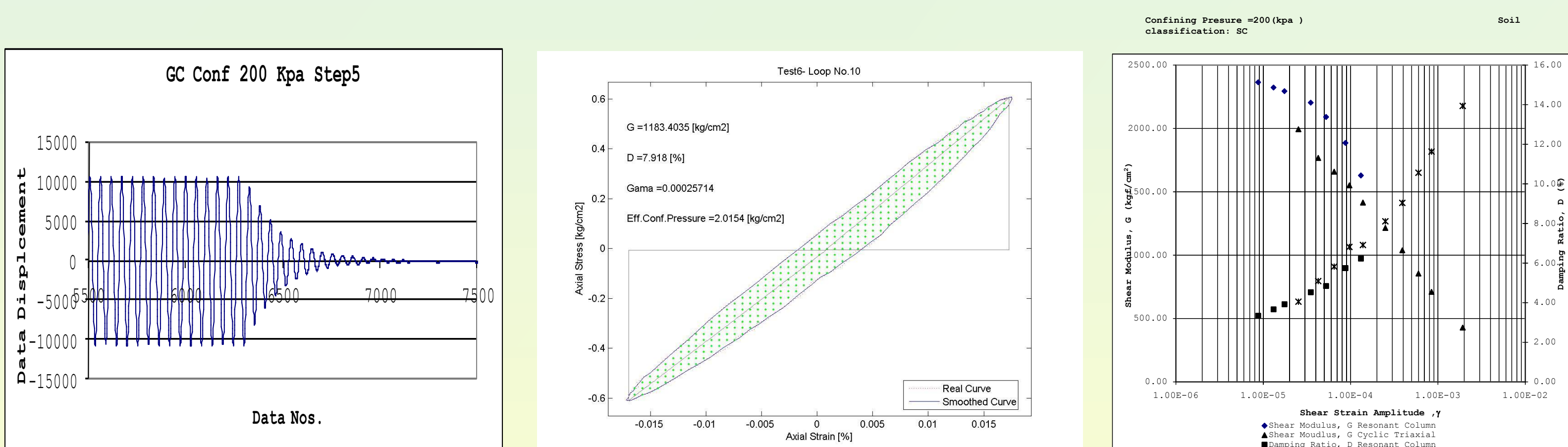
## ۲- ارائه نتایج و تفسیر آزمایش های سه محوری تناوبی و ستون تشدید

مقادیر مدول برشی و نسبت میرایی در کرنش های برشی مختلف در آزمایش های سه محوری تناوبی و ستون تشدید برای مصالح هسته و فیلتر، بدست آمد. به منظور سهولت استفاده از نتایج مذکور در مطالعات طراحی لرزه ای سد، منحنی های پیشنهادی مدول برشی و نسبت میرایی نیز براساس تجرب آزمایشگاهی و قضاوت مهندسی برای مصالح هسته و مصالح فیلتر ارائه گردید.

همانطور که در نتایج قابل مشاهده بود، افزایش تنش همه جانبه موثر از ۲۰۰ کیلو پاسکال تا ۸۰۰ کیلو پاسکال باعث افزایش مدول برشی در مصالح هسته به میزان حدود ۸۰ درصد و در مصالح فیلتر حدود ۲۰ درصد شده است و مقادیر نسبت میرایی با افزایش تنش همه جانبه موثر، در مصالح هسته، کمی کاهش یافته است.

در بخش مطالعات روانگرایی، نتایج آزمایش های انجام شده در فشارهای همه جانبه ۲۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ کیلو پاسکال به صورت منحنی هایی در زیر نشان داده شده است.

در برخی نمونه ها، بارگذاری تا کرنش های حدود ۵٪ ادامه یافت و در برخی دیگر به دلیل شدن غشاء لاستیکی دور نمونه، بارگذاری متوقف گردید و تکرار آزمایش در نمونه های مورد نیاز صورت گرفت.



منحنی کاهش لگاریتمی یکی از پله های بارگذاری در آزمایش ستون تشدید

منحنی هیسترسیس یکی از پله های بارگذاری سه محوری تناوبی تغییر شکلی

منحنی تغییرات مدول برشی و نسبت میرایی بر حسب کرنش برشی

## ۲-۱- اشباع، تحکیم و بارگذاری نمونه ها

پس از قرار دادن نمونه درون سلول آزمایش، به منظور تسریع در اشباع نمونه ها و خارج نمودن حبابهای هوا از درون نمونه، از گاز CO2 استفاده شد. پس از آن، آب بدون هوا به مدت زمان کافی از پائین نمونه وارد و از قسمت بالای نمونه که تحت خلاء قرار گرفته بود، خارج شد. سپس مسیر ورود آب بدون هوا به بالای نمونه، متصل گشت. در نهایت با استفاده از فشار ۱۰۰ کیلو پاسکال ( بصورت تدریجی) نمونه ها اشباع گردیدند. در این آزمایش ها ملاک اشباع نمونه، رسیدن ضریب B اسکمپتون به ۹۵ درصد بوده است.

پس از اتمام اشباع، نمونه ها تحت تحکیم همسان در تنش های همه جانبه قرار گرفت. تحکیم نمونه ها تا پایان تحکیم اولیه ادامه داشت. توجه به درصد مختلف رس در نمونه ها، زمان تحکیم نمونه ها متفاوت بود.

بعد از اتمام مرحله تحکیم، شیرهای بالا و پایین نمونه بسته شد و برای آزمایش های سه محوری تناوبی تغییر شکلی و مقاومتی، نمونه تحت بارگذاری تناوبی در شرایط کنترل تنش با فرکانس بارگذاری ۱/۰ هرتز از نوع سینوسی قرار گرفت. تعداد سیکل بارگذاری در نمونه های تغییر شکلی ۴۰ سیکل و تعداد پله های بارگذاری نیز حدود ۱۰-۸ مرحله بارگذاری، بسته به مقاومت نمونه در پله های بالاتر انجام شد.

در آزمایش های تناوبی مقاومتی ۵۰ سیکل بصورت یک مرحله بارگذاری انجام شد. بارگذاری تا رسیدن فشار آب منفذی به فشار همه جانبه با رسیدن به کرنش دو طرفه ۲۰٪ متوقف گردید.

آزمایش ستون تشدید به منظور بدست آوردن مقادیر مدول برشی و نسبت میرایی در محدوده کرنش های ۴-۱۰ - ۶-۱۰ در شرایط کنترل کرنش با اعمال جابجایی پیچشی به صورت بارگذاری سینوسی در چند مرحله با افزایش تدریجی دامنه نوسان در محدود فوق الذکر انجام شد.



تصاویری از مراحل اشباع و تحکیم نمونه سه محوری تناوبی

## ۳- برخی نتایج آزمایش ها و تصویر نمونه ها



تصویر تعدادی از نمونه های هسته سد در آزمایش سه محوری تناوبی تغییر شکلی قبل از آزمایش



تصویر تعدادی از نمونه های هسته سد در آزمایش ستون تشدید قبل از آزمایش



تصویر تعدادی از نمونه های هسته سد در آزمایش سه محوری تناوبی تغییر شکلی پس از آزمایش



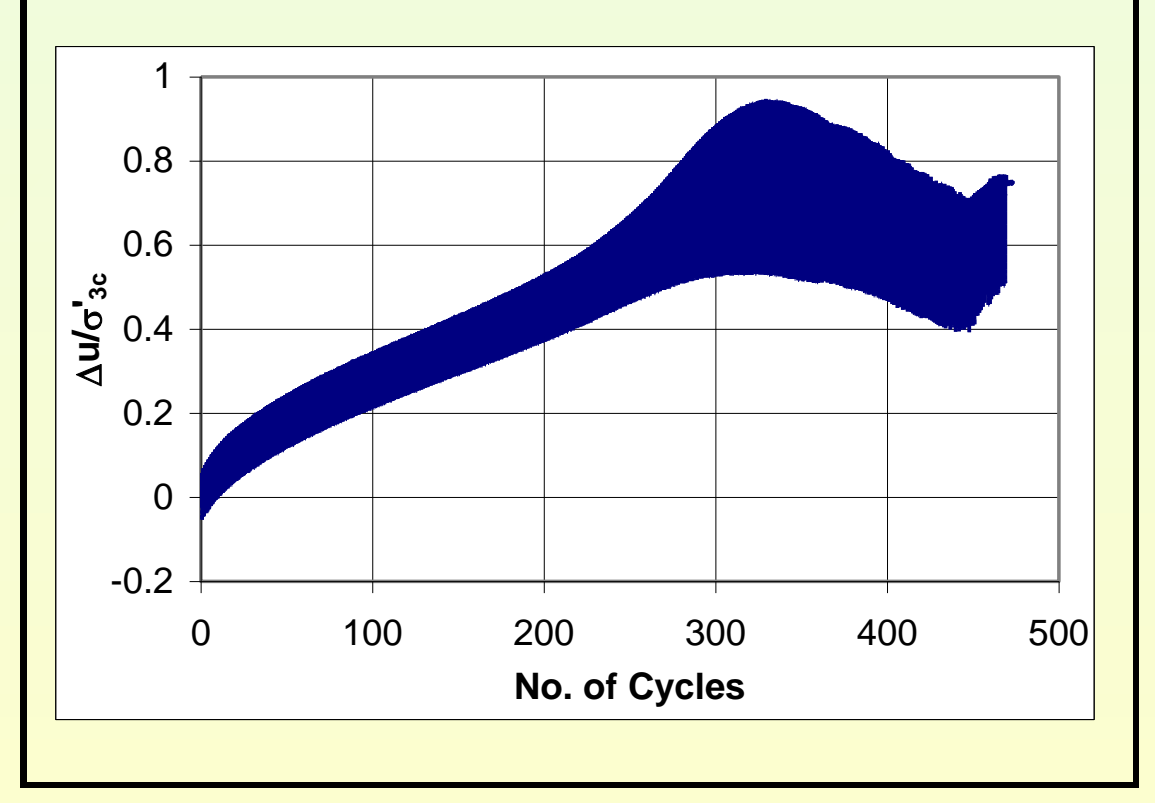
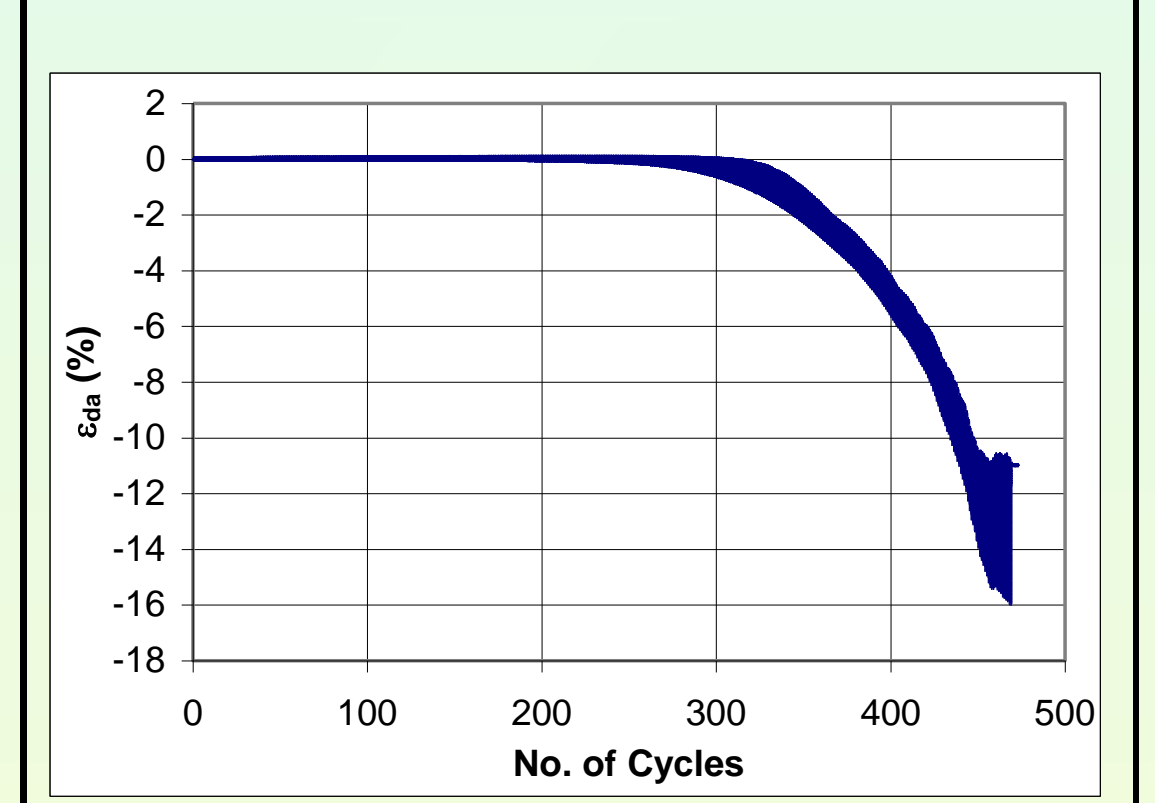
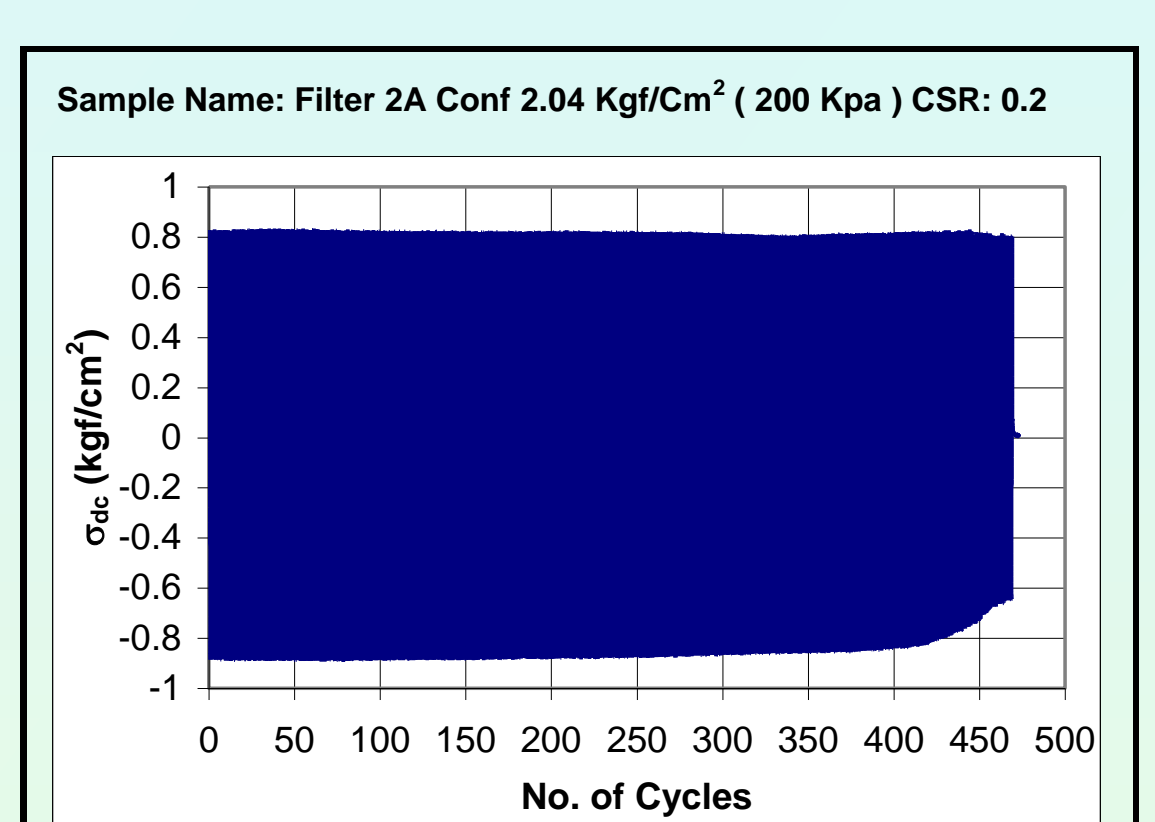
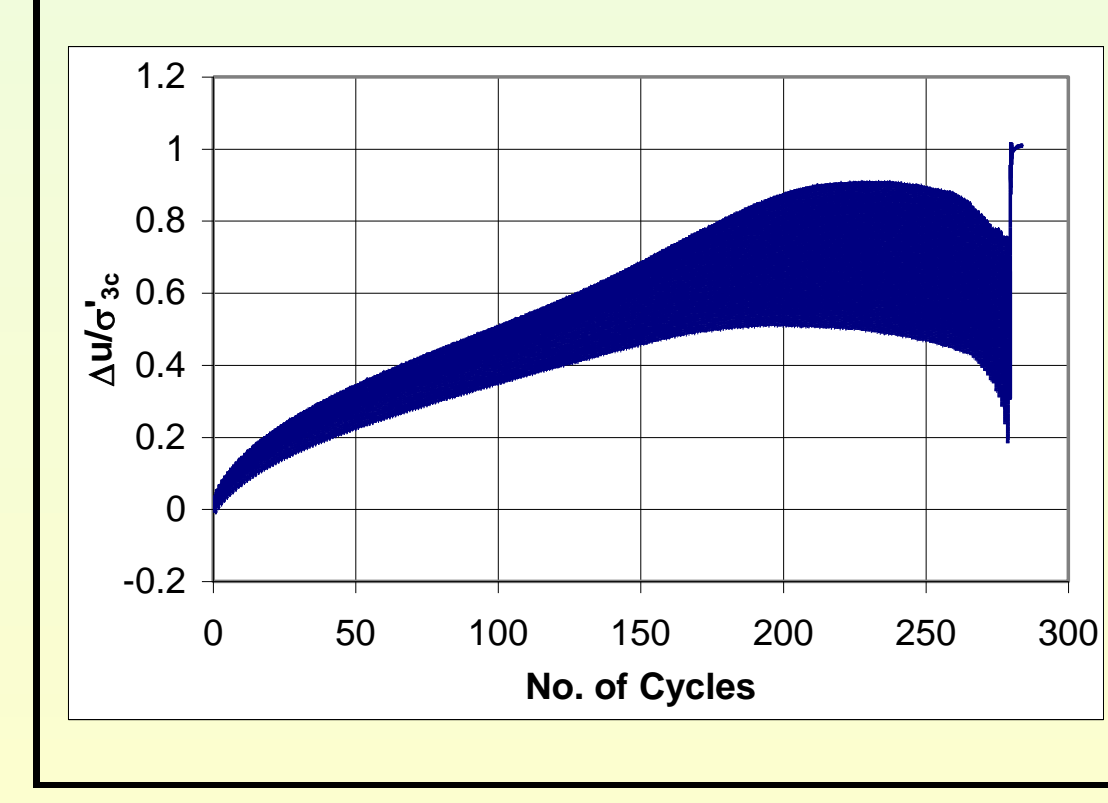
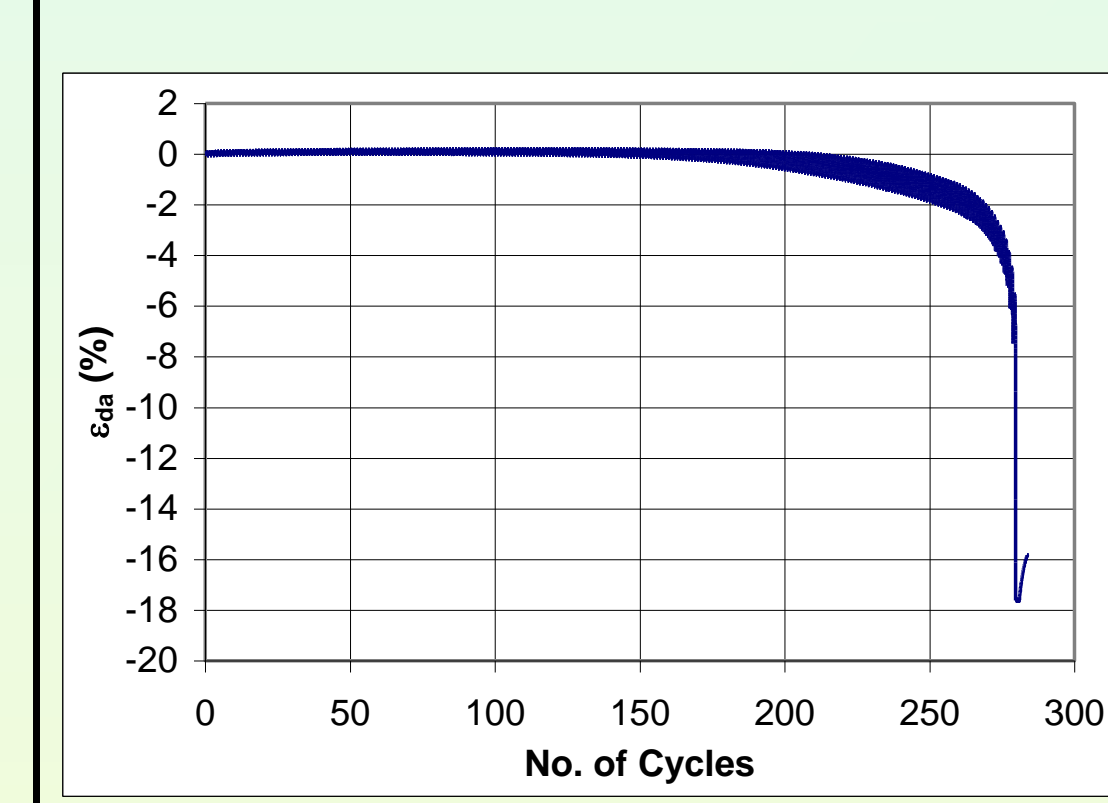
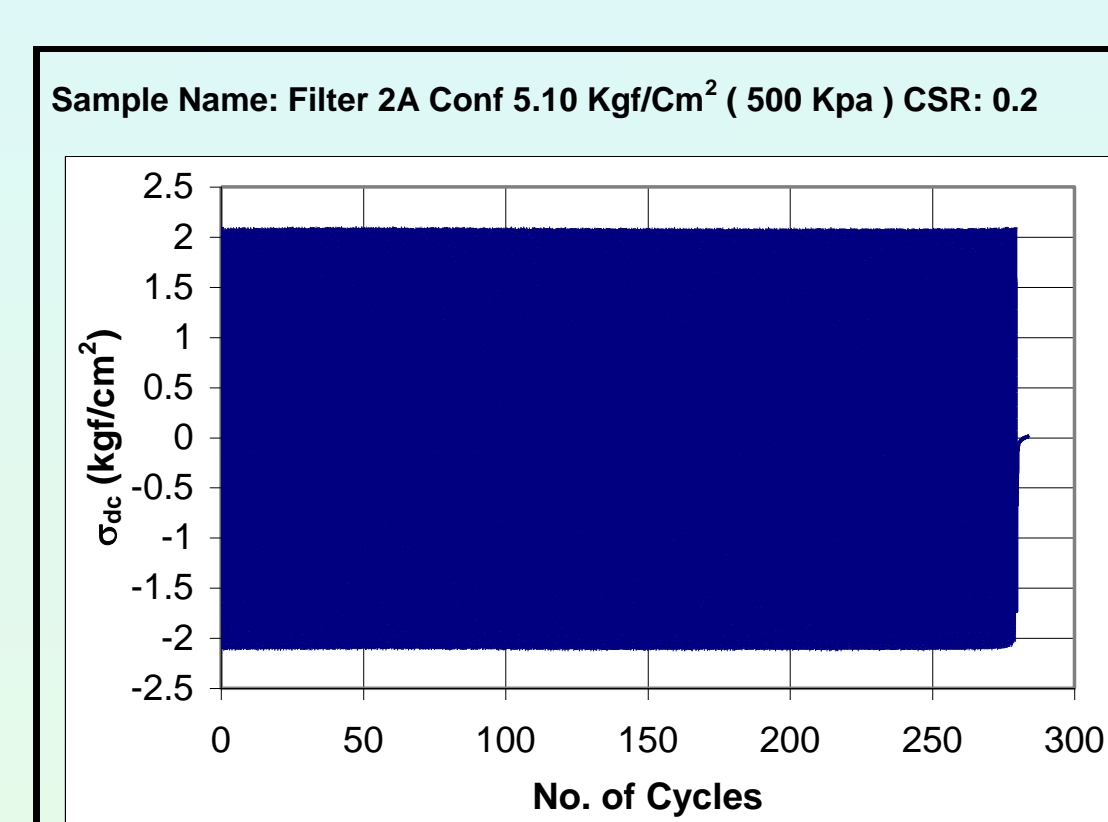
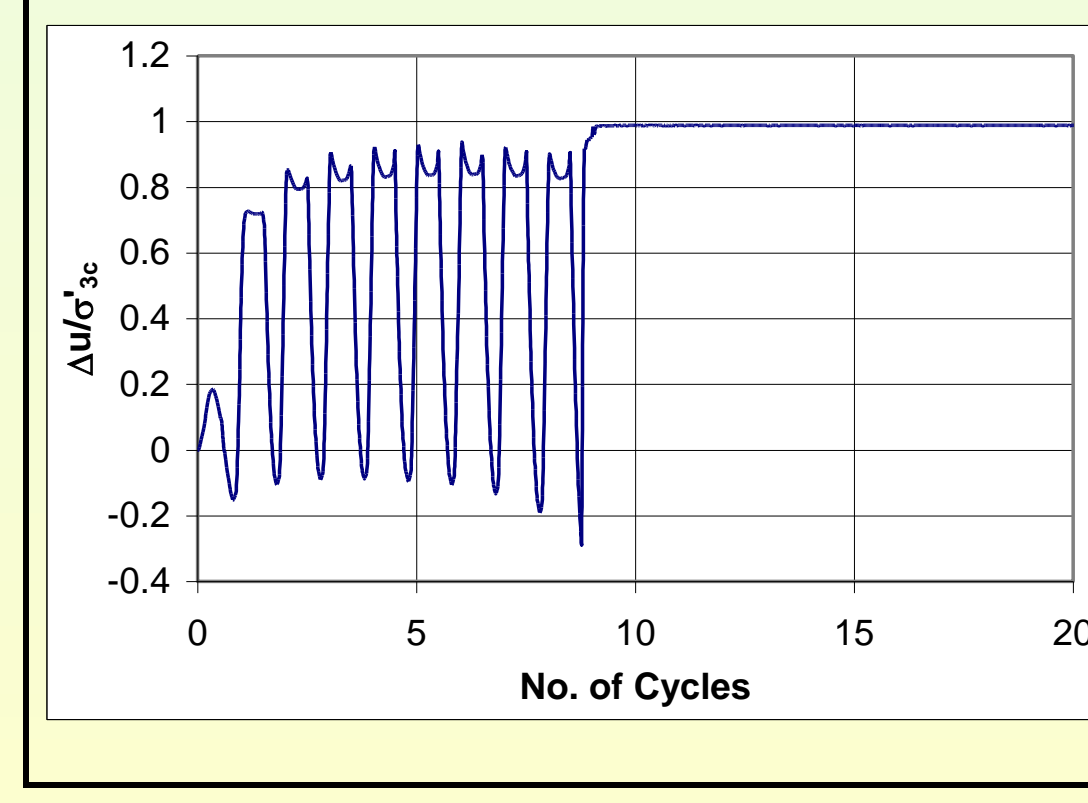
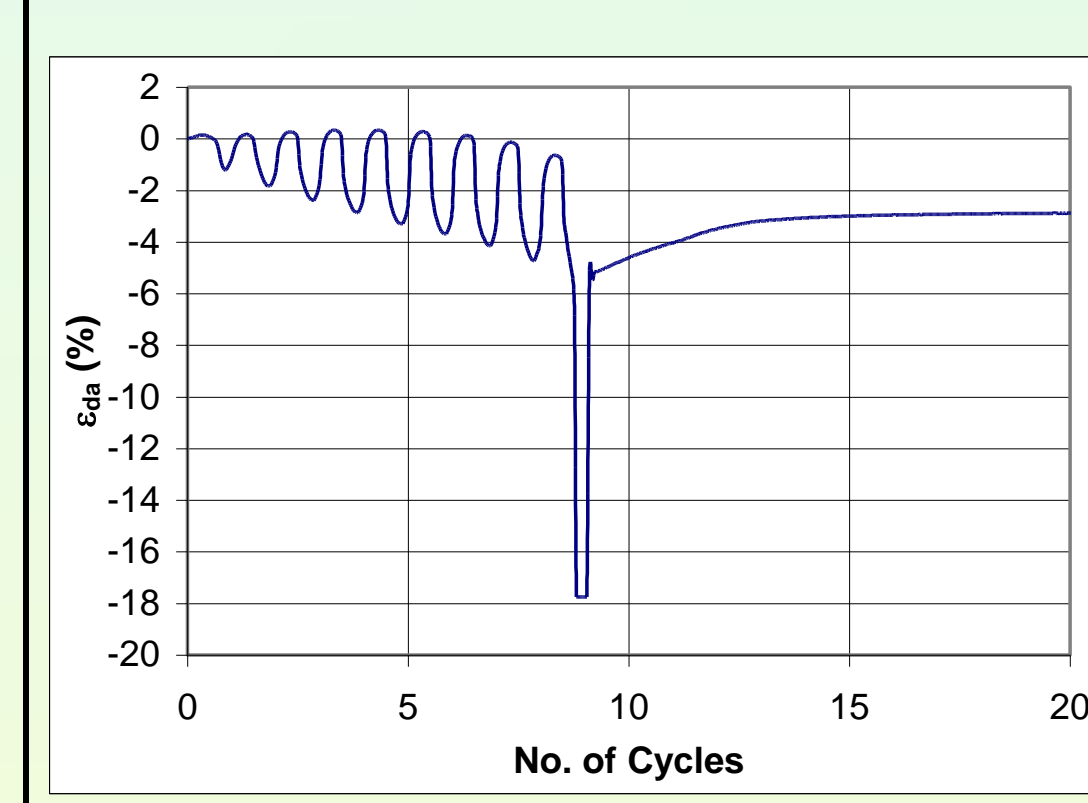
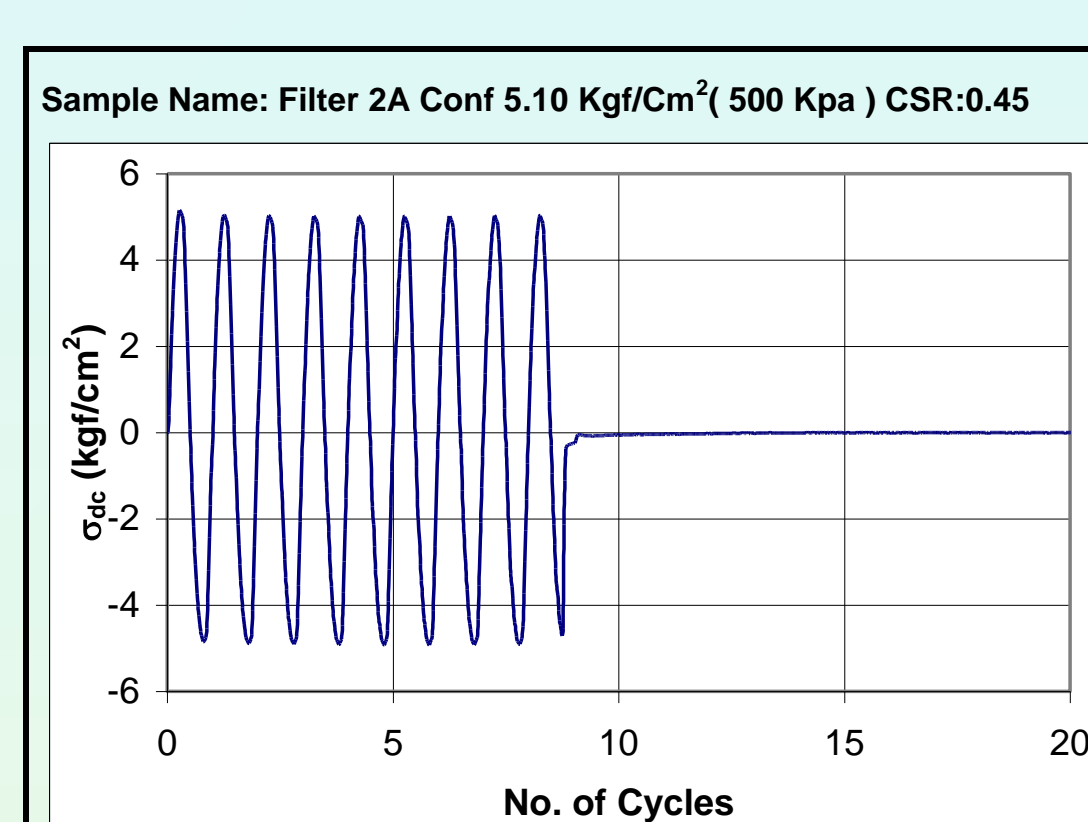
تصویر تعدادی از نمونه های هسته سد در آزمایش ستون تشدید پس از آزمایش



تصویر تعدادی از نمونه های فیلتر سد در آزمایش سه محوری تناوبی مقاومتی قبل از آزمایش



تصویر تعدادی از نمونه های فیلتر سد در آزمایش سه محوری تناوبی مقاومتی قبل از آزمایش



نتایج منتخب آزمایش های سه محوری تناوبی مقاومتی