Archive of SID

نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)

بررسی و مقایسه پارامترهای میزان جذب انرژی و سخت‌شوندگی در تیربتن آرمه با و بدون الیاف پلی‌پروپیلن و فناوری HPFRCC

علی قربانی [1*]، امین قربانی [2]

۱- استادیار،گروه مهندسی عمران،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران
qhorbani@pnu.ac.ir

۲- استادیار،گروه مهندسی عمران،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران
aghorbani@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۹

چکیده

امروزه بحث مقاوم‌سازی لرزه ای سازه‌ها و ساختمان‌های موجود به یکی از محوری‌ترین مسائل موجود در مهندسی زلزله مبدل شده است. مقاوم‌سازی سازه‌ها در دو سطح کلی و محلی می‌تواند انجام‌پذیرد. در مقاوم‌سازی کلی، کل سیستم ساز تقویت و بهسازی می‌شود. در روش‌های محلی بهسازی لرزه ای، برخی از المان‌ها بهسازی می‌شوند. در گروه دوم ساختمان‌هایی قرا می‌گیرند که مطابق ضوابط لرزهای شخصی طراحی و اجرا شده‌اند و اکنون به علت تغییر آن ضوابط و احیاناً افزایش سطح نیروهای طرح و یا تغییر در ضوابط شکل پذیری نیاز به بهسازی دارند. در کشور ما به دلایل مختلف و به ویژه به علت جنبه های اقتصادی مسئله، در حال حاضر تمرکز بر روی مقاوم‌سازی ساختمان‌های گروه اول می‌باشد. بتن یکی از مهمترین مصالح ساختمانی است که استفاده از آن در همه کشورهای دنیا به دلیل در دسترس بودن مصالح، ارزانی نسبی آن‌ها، تولید نسبتاً آسان و گستره وسیع استفاده‌ی آن در ساختمان‌ها و سازه‌ها رو به افزایش است. یکی از معایب بتن، شکنندگی آن، مقاومت کششی پایین و مقاومت کم در برابر بازشدگی و گسترش ترکها است. در گسترش و توسعه مصالح شبیه بتن، الیاف مسلح کننده نقش مهمی داشته اند. در دهه ۱۹۶۰، رامولدی و همکاران بررسی تاثیر الیاف فولادی بر کاهش شکنندگی بتن را در دستور کار قرار دادند. این روند با کاربرد سایر انواع الیاف ادامه یافت و در سالهای اخیر ترکیب انواع الیاف با طولهای مختلف در دستور کار قرار گرفت. گسترش دانش در خصوص چگونگی تاثیر الیاف بر ملات، منجر به تدوین توصیه هایی در مورد طراحی سازه‌ای گردید. در این تحقیق تاثیر HPFRCC بر عملکرد سازهای تیرهای بتن مسلح ، همراه با و بدون الیاف پلیپروپیلن بر میزان جذب انرژی و سخت شوندگی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا یک تیر مرجع و چهار تیر مقاوم‌سازی شده با یک لایه نازک HPFRCC در قسمت تحتانی تیرها با همراه با الیاف پلیپروپیلن، تحت آزمایش چهار نقطه‌ای خمش خالص قرار گرفته و تاثیر مقاوم‌سازی بر جذب انرژی و سخت‌شوندگی مورد بررسی و مقایسه واقع می‌گردد.

کلمات کلیدی: : الیاف، بتن، پدیده سخت شوندگی، جذب انرژی

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه بحث مقاوم‌سازی لرزه ای سازه‌ها و ساختمان‌های موجود به یکی از محوری‌ترین مسائل موجود در مهندسی زلزله مبدل شده است. غالباً ساختمان‌هایی که نیاز به مقاوم‌سازی در برابر زلزله دارند در دو گروه عمده قرار می‌گیرند. گروه اول ساختمان‌هایی هستند که قبل از تدوین هر گونه ضوابط لرزهای و یا پس از تدوین آن‌ها اما بدون رعایت آن ضوابط طراحی و ساخته شده‌اند و بهره‌برداری از آن‌ها در حال حاضر نیز ادامه دارد. چنین ساختمان‌هایی در بیشتر موارد صرفاً برای بارهای ثقلی طرح شده و فاقد هر گونه پایداری لرزه ای به ویژه در برابر حرکات قوی و شدید زمین می‌باشند. در گروه دوم ساختمان‌هایی قرار می‌گیرند که مطابق ضوابط لرزه ای شخصی طراحی و اجرا شده‌اند و اکنون به علت تغییر آن ضوابط و احیاناً افزایش سطح نیروهای طرح و یا تغییر در ضوابط شکل‌پذیری نیاز به بهسازی دارند. در کشور ما به دلایل مختلف و به ویژه به علت جنبه‌های اقتصادی مسئله، در حال حاضر تمرکز بر روی مقاوم‌سازی ساختمان‌های گروه اول می‌باشد.

مقاوم‌سازی سازه‌ها در دو سطح کلی[۱] و محلی[۲] می‌تواند انجام‌پذیرد. در مقاوم‌سازی کلی، کل سیستم ساز تقویت و بهسازی می باشد. در روش‌های محلی بهسازی لرزه ای، برخی از المان‌ها بهسازی می‌شوند. به عبارت دیگر اولین روش، مقاوم‌سازی عمومی ساختمان است که شامل اصلاحات کلی و افزایش مقاومت عمومی ساختمان با افزودن عناصر مقاوم سازه ای مانند اضافه کردن دیوارهای سازهای و بادبندهای فولادی و جداکننده‌های پایه است. دومین روش مقاوم سازی محلی اعضاء است. در این روش اعضایی که ظرفیت شکل‌پذیری ناکافی دارند ظرفیتشان به منظور بر آورده کردن حالات حدی افزایش می‌یابد و مقاوم‌سازی سطح عضو شامل روش‌هایی مبتنی بر افزودن ورق و نوارهای تقویتی از قبیل اضافه کردن بتن و فولاد و یا رزوه پوش کردن عضو سازه ای با الیاف پلیمری مرکب به منظور افزایش مقاومت برشی و خمشی و یا فشاری عضو بتنی است.

بتن یکی از مهمترین مصالح ساختمانی است که استفاده از آن در همه کشورهای دنیا رو به افزایش است. دلایل این امر در دسترس بودن مصالح، ارزانی نسبی آن‌ها، تولید نسبتاً آسان و گستره وسیع استفاده آن در ساختمان‌ها و سازه‌ها می‌باشد. علاوه بر آن، از حدود سی سال قبل مفهومی تحت عنوان بتن توانمند نیز مطرح شده است. این مصالح نوین، بتنی است که خصوصیاتی از آن برای کاربردها و محیط‌های خاصی توسعه یافته است. این خصوصیات شامل مقاومت، دوام، مقاومت در برابر عوامل مهاجم خارجی، سخت‌شوندگی کرنش بالا، نمای ظاهری مناسب و ...می‌باشد. یکی از معایب بتن، شکنندگی آن،مقاومت کششی پایین و مقاومت کم در برابر بازشدگی و گسترش ترک‌ها است .در گسترش و توسعه مصالح شبیه بتن، الیاف مسلح کننده نقش مهمی داشته‌اند.

[۱] Global
[۲] Local

www.SID.ir

Archive of SID

در دهه ۱۹۶۰، رامولدی و همکاران بررسی تاثیر الیاف فولادی بر کاهش شکنندگی بتن را در دستور کار قرار دادند[۹،۸]. این روند با کاربرد سایر انواع الیاف ادامه یافت و در سال‌های اخیر ترکیب انواع الیاف با طول‌های مختلف در دستور کار قرار گرفت. گسترش دانش در خصوص چگونگی تاثیر الیاف بر ملات، منجر به تدوین توصیه‌هایی در مورد طراحی سازه‌ای توسط موسسه RILEM گردید[۱۰،۲]. در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰، تولید یک مصالح بتن الیافی با رفتار کششی شکل‌پذیر مورد توجه قرار گرفت که شروع آن توسط اوستون و همکاران در سال ۱۹۷۱ بود[۱]. در سال ۱۹۸۹ کرنچل و استانگ با کاربرد مناسب الیاف به هم پیوسته به شکل‌پذیری کششی ۱۰۰ برابر نسبت به بتن معمولی دست یافتند[۴]. نامان و رینهارت در سال ۲۰۰۳ مصالحی را معرفی نمودند که جدا از بتن‌های الیافی (FRC) طبقه‌بندی می‌شدند و شامل یک بخش سخت‌شوندگی کرنش کششی در منحنی تنش -کرنش کششی خود بودند و در رده‌ی مصالح توانمند با نام کامپوزیت‌های سیمانی مسلح الیافی توانمند[۳] قرار گرفتند[۶،۳]. بیشتر اعضای ساخته شده با این مصالح، شامل ملات سیمانی بدون درشت دانه هستند و به همین دلیل ملات یا خمیر سیمانی مسلح شده توسط الیاف نام گرفته‌اند[۷،۵]. در طول رفتار نرم شوندگی، تغییر شکل‌ها به یک صفحه شکست سازه‌ای متمرکز می‌شود، اما در طول رفتار سخت‌شوندگی، تغییر شکل سازه متشکل از باز شدگی ترک‌های ریز چندگانه و کشیدگی الاستیک مصالح بین این ترک‌ها است. هر چند HPFRCC دارای ویژگی‌هایی است که در بتن معمولی و FRC وجود ندارد اما به علت مسائل اقتصادی و اجرایی، کاربرد آن‌ها بیشتر به امور تحقیقاتی و کاربردهای خاص محدود گشته است. در این تحقیق بنا بر آن است که تاثیر HPFRCC در سخت‌شوندگی و جذب انرژی نمونه‌ها تیرهای با هم مقایسه می‌شوند.

۲-مواد و روش‌های اجرای تحقیق

این تحقیق با رویکرد آزمایشگاهی انجام گرفته که طی آن پنج تیر بتن مسلح کامل تحت آزمایش بارگذاری چهار نقطه‌ای قرار می‌گیرند. یکی از تیرها به عنوان نمونه مرجع انتخاب شده و چهار تیر دیگر در سطوح پایینی تیرهای بتنی بصورت قالب‌بندی شکل با لایه ای از مصالح HPFRCC مقاوم‌سازی می‌شوند و سخت‌شوندگی و جذب انرژی نمونه‌ها باهم مقایسه می‌شوند. تکیه‌گاه‌ها به نحوی در دو طرف تیر اجرا شدند که فاصله‌ی مرکز تا مرکز آن‌ها۱۸۰۰ میلیمتر باشد. این طول آزاد به سه قسمت مساوی تقسیم و نیروهای متمرکز به فاصله‌ی ۶۰۰ میلیمتر از یکدیگر و به صورت متقارن اعمال شدند. خاموت گذاری به شکلی در طول تیرها انجام شد که شکست برشی حاکم نبوده و انهدام همه‌ی تیرها، خمشی باشد. ابعاد مقطع عرضی تیرها به عرض ۲۵۰ و ارتفاع ۲۵۰ میلیمتر انتخاب گردید یک تیر بتن مسلح به عنوان نمونه‌ی مرجع و چهار تیر با لایه‌های HPFRCC تحتانی Uشکل به ضخامت یکسان و با مقدار الیاف متفاوت برای این آزمایش در نظر گرفته شدند. ضخامت لایه‌ی HPFRCC در کلیه نمونه‌ها برابر ۲ سانتیمتر در نظر گرفته شد. نسبت آرماتور مصرفی در این تیرها ۰/۰۰۸ بود که حدود ۳۰/۵٪ آرماتور حداکثر در تیرهای بتن مسلح معمولی بود تا با توجه به وجود الیاف در لایه تحتانی که شبیه فولاد مازاد

[۳] HPFRCC

www.SID.ir

Archive of SID

عمل می‌کنند، مقطع به حالت پرفولاد نزدیک نگردد و انهدام خمشی حاکم باشد و همچنین با ضعف خمشی تیر تاثیر مقاوم‌سازی مشهود باشد، ضمن اینکه این نسبت آرماتور از نسبت آرماتور حداقل که ۰۰۳۷/ ۰می‌باشد نیز بزرگتر بوده و خطر انهدام ترد، نمونه‌ها را تهدید نمی‌کرد.

در مورد خاموت‌ها نیز، آرماتورهای حداقل برشی از معادله‌ی زیر ، ۳۲/۸۱ میلی‌مترمربع بدست می‌آید:

$$۰.۳۵\frac{b.s}{\varphi_\gamma} = ۰.۳۵\frac{۲۵۰ * ۱۵۰}{٤۰۰} = ۳۲.۸۱mm^۲ \qquad (۱)$$

شن مورد استفاده در این آزمایش دارای درصد شکستگی معادل ۴۳٪ بوده و در محدوده الک ۰/۵ اینچ(۱۲/۵میلیمتر) تا الک نمره۴ (۴/۷۵میلیمتر) قرار دارد. ماسه‌ی مورد استفاده در این آزمایش نیز محدوده‌ی زیر الک نمره‌ی۴ (۴/۷۵میلیمتر) قرار دارد. سیمان مصرفی در این آزمایش از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ می‌باشد و الیاف مورد استفاده در این آزمایش از نوع الیاف PP[۴] است.

۳-تجزیه و تحلیل داده‌ها

۳-۱-مقاوم‌سازی تیرهای بتن مسلح

در سیستم‌های سازه ای معمول مانند قاب‌های خمشی و سیستم‌های دوگانه، تیرها نقش بسیار مهمی در لرزه بری سیستم دارند. این المان‌ها برای عملکرد مناسب نیاز به شکل‌پذیری بالا و مقاومت و سختی متناسب با آن دارند. طراح بایستی قبل از اقدام به بهسازی مکانیزم غالب در رفتار تیر داخل سازه مورد نظر را تشخیص داده و سپس متناسب با آن اقدام به انتخاب روش و سسپس مقاوم‌سازی کند. برای مثال چنانچه شکل‌پذیری خمشی المان تیر پایین باشد، طراح ابتدا بایستی این نوع شکل‌پذیری را تأمین نموده و در مرحله بعد سعی در تأمین مقاومت برشی در تیر تا لحظه تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی نماید. از سوی دیگر اگر شکل‌پذیری خمشی مورد انتظار در طول پیش بینی برای تشکیل مفصل پلاستیک تأمین شده و فقط مقاومت برشی متناظر با لنگرهای پلاستیک به وجود آمده کافی نیست، طراح روش‌هایی را مد نظر خواهد داشت که صرفاً مقاومت برشی مورد نیاز را تأمین می‌کند.

در بتن معمولی یا FRC در هنگام شروع خسارت، ترک‌ها با نرم‌شوندگی منحنی تنش –کرنش کششی همراه شده و ظرفیت باربری سازه با افزایش ترک‌ها کاهش می‌یابد. لذا تکیه بر آرماتور برای حفظ سازه ضروری است. اما در HPFRCC میکروترک‌ها باعث ورود مصالح به مرحله سخت شوندگی و ظرفیت باربری بالا می‌رود. در بتن معمولی، کنده شدن پوشش سطحی بتن به چشم می‌خورد که در

[۴] Poly Propylene

www.SID.ir

Archive of SID

HPFRCCوجود ندارد. پس از وقوع اولین ترک، HPFRCC مسلح سختی مساوی و یا بیشتری نسبت به بتن مسلح معمولی می‌یابد. هرچند که مدول الاستیسیته اولیه HPFRCC نسبت به بتن معمولی کمتر است، اما این امر (سختی بیشتر) به سبب قابلیت HPFRCC برای ادامه تقسیم بار با آرماتورهای فولادی پس از شکل‌گیری اولین ترک‌ها می‌باشد.

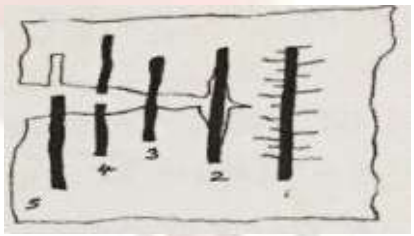
۳-۲-الیاف

الیاف کوتاه غیر پیوسته مورد استفاده در بتن به شیوه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند، طبقه‌بندی نخست براساس جنس مصالح است که شامل الیاف ارگانیک طبیعی (سلولز، سهره، کنف، بامبو، موی اسب و غیره)، الیاف معدنی طبیعی (آزبست، پشم کوهی و غیره) و الیاف ساخته دست انسان (فولاد، تیتانیوم، شیشه، کربن، پلیمرها یا مصنوعی‌ها) می‌باشد. الیاف مصنوعی نیز به نوبه خود شامل الیاف PVA ، PP، PE، Kevlar ,Spectra و ... هستند.

۳-۲-۱-چگونگی عمل الیاف در داخل ملات

چگونگی عمل الیاف در داخل ملات در شکل(۱) با توجه به شماره‌هایی که در شکل نشان داده شده است به شرح ذیل می‌باشد.

۱- آسیب دیدگی ملات ۲- جدا شدن الیاف و ملات ۳- پل زدن الیاف ۴- پارگی الیاف ۵- بیرون کشیده شدن الیاف از ملات.



شکل۱؛ چگونگی عمل الیاف در داخل ملات

پس از تشکیل اولین ترک، الیاف شروع به پل زدن می‌کنند و جلوی گسترش این ترک گرفته می‌شود. با افزایش نیروی کششی، ترک جدیدی در یک نقطه‌ی دیگر تشکیل می‌گردد و این فرایند تا تشکیل چندین ترک در محل‌های مختلف نمونه ادامه می‌یابد.

کامپوزیت‌های بتنی با سیمانی مسلح الیافی بصورت موادی مرکب با دو مولفه اصلی شامل الیاف و ملات تعریف می‌شوند. ملات صرف نظر از اینکه خمیر یا بتن باشد، شامل سنگدانه‌ها و مواد افزودنی ویژه است. حفرات هوا نیز که در طول عمل اختلاط در ملات محبوس می‌گردند، جزئی از آن به حساب می‌آیند. الیاف نیز دومین مولفه اصلی تشکیل کامپوزیت است. الیاف و ملات به سبب وجود پیوستگی با یکدیگر کار می‌کنند که منجر به تشکیل یک کامپوزیت قوی می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۳-نسبت‌های حجمی و وزنی اختلاط مصالح در بتنHPFRCC :

چهار نوع طرح اختلاط مصالح HPFRCC در این تحقیق بکار رفته که نسبت‌های وزنی اختلاط هر یک به تفکیک در جدول(۱) ارائه شده است که بر مبنای وزن سیمان مصرفی می‌باشد. الیاف مصرفی نیز از نوع PP بوده که با نسبت حجمی ۱٪ و ۳٪ به این مخلوط افزوده شده‌اند و همچنین برای تعیین تاثیر میزان نسبت آب به سیمان در مقاوم‌سازی به تفکیک مقدار نسبت آب به سیمان در طرح‌ها تغییر داده شده است. باید توجه داشت که الیاف به آرامی و طی چندین مرحله به مخلوط اضافه شوند تا از پدیده‌ی گلوله شدن الیاف جلوگیری به عمل آید. بدین ترتیب که ابتدا کل سیمان و ماسه با ۳۰٪ الیاف با حدود ۳۰٪ آب مخلوط شد و سپس مابقی الیاف که در ۷۰٪ آب باقیمانده ریخته شده بود، به تدریج و به صورت مرحله‌ای به ترکیب اضافه گردید تا الیاف به شکل یکنواخت در بافت HPFRCC توزیع شود. مرطوب بودن سنگدانه‌های مصرفی در این حالت نیز وجود داشت و لذا نسبت آب به سیمان واقعی بیشتر از مقداری است که در این جدول مشاهده می‌شود.

جدول(۱) نسبت‌های حجمی و وزنی اختلاط مصالح در بتن HPFRCC

شماره طرح	الیاف	سیمان	شن	ماسه	آب
HPFRCC 1	٪۱ حجمی	۱	-	۱	٪۵۲
HPFRCC 2	٪۱ حجمی	۱	-	۱	٪۶۰
HPFRCC 3	٪۳ حجمی	۱	-	۱	٪۵۲
HPFRCC 4	٪۳ حجمی	۱	-	۱	٪۶۰

برای تعیین مقاومت فشاری بتن معمولی از نمونه‌های مکعبی ۱۰ x ۱۰ سانتیمتر استفاده شده. برای تعیین مقاومت فشاری چهار طرح اختلاط HPFRCC نیز از ۱۲ نمونه مکعبی ۱۰ x ۱۰ سانتیمتر استفاده شده که چگونگی انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری HPFRCCمشابه بتن معمولی بوده چگونگی انهدام این نمونه‌ها، وجود الیاف سبب یکپارچگی بیشتر نمونه‌ها شده و جدا کردن بخش‌های تخریب شده‌ی نمونه به سادگی میسر نیست. به علاوه نمونه‌ی بتن معمولی به صورت دوکی شکل درآمد، اما نمونه‌ی HPFRCC تغییر شکل جانبی شدید دارد و کاهش طول آن در امتداد بارگذاری کاملا قابل رویت است. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی بتن معمولی و HPFRCC پس از گذشت ۲۸ روز، در جدول(۲) ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID
www.cpjournals.com

جدول۲؛ نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن معمولی و HPFRCC مورد استفاده در این آزمایش

مقاومت فشاری 4 HPFRCC (MPa)	مقاومت فشاری 3 HPFRCC (MPa)	مقاومت فشاری 2 HPFRCC (MPa)	مقاومت فشاری 1 HPFRCC (MPa)	مقاومت فشاری بتن معمولی (MPa)
21.3	27.1	22.8	26.7	28.3
22.9	25.8	23.4	25.9	28.9
22.1	26.7	22.6	26.3	27.9

میانگین مقاومت فشاری برای نمونه‌های بتنی و HPFRCC ۴ – HPFRCC ۳ – HPFRCC ۲ - HPFRCC ۱ به ترتیب برابر با ۲۸,۴و ۲۶,۳ و ۲۲,۹ و ۲۶,۵ و ۲۲,۱ مگاپاسکال می‌باشد.

۳-۴-میزان جذب انرژی نمونه‌ها

میزان جذب انرژی هر نمونه برابر سطح زیر منحنی تانقطه شکست نمونه می‌باشد که قدرت استهلاک انرژی توسط هر نمونه را نشان می‌دهد. جدول (۳) درصد تغییر در میزان انرژی جذب شده نمونه‌ها ناشی از مقاوم‌سازی را نشان می‌دهد .

جدول ۳؛ درصد تغییر در میزان انرژی جذب شده نمونه‌ها ناشی از مقاوم‌سازی

نام تیر	میزان انرژی=W (سطح زیر نمودار) kN-mm	$\frac{W}{W(BC)}$
CB (Control Beam)	5862	1
B-H-1	10895	1.85
B-H-2	10547	1.8
B-H-3	11267	1.92
B-H-4	11354	1.94

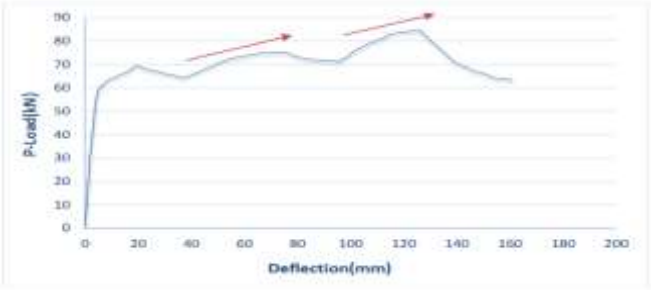
از ملاحظه جدول بالا، افزایش جذب انرژی نمونه‌های مقاوم‌سازی شده در قیاس با نمونه مرجع به وضوح قابل دریافت است تا آنجا که میزان این افزایش در برخی نمونه‌ها تا حدود دو برابر انرژی نمونه مرجع می‌باشد و این افزایش انرژی در نمونه‌های دارای ۳٪ الیاف بیشتر از نمونه‌های مقاوم‌سازی شده با ۱٪ الیاف می‌باشد.

۳-۶-بررسی پدیده سخت شوندگی رفتار نمونه‌ها

با توجه به منحنی‌های حاصله، اثر پدیده سخت‌شوندگی ناشی از پل زدن الیاف‌ها دیده می‌شود. شکل (۲) اثر این پدیده را در نمونه‌های ۳٪ الیاف B-H-۴ , B-H-۳ نشان می‌دهد. تغییر شیب بین نقطه جاری شدن اولیه و نقطه بار نهایی نشان از بروز سخت‌شوندگی در تیر به دلیل وجود الیاف می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲؛ اثر پدیده سختشوندگی ناشی از پل زدن الیافها را در نمونههای۳٪ الیاف B-H-٤ , B-H-٣

با توجه به شکل(۲) دو مرحله پدیده سختشوندگی در نمونه مشاهده میشود که اثر الیاف، تاثیر اصلی بر این پدیده دارد. همچنین از توجه به مباحث انرژی و سختشوندگی این نکته قابل دریافت است که هر نمونهای که رفتار سختشونده بیشتری دارا میباشد، جذب انرژی آن نیز بالاتر است.

۴-جمعبندی و نتیجهگیری

کاربرد موفقیت آمیز مصالح HPFRCC در سازهها که نتیجه منحنی جالب توجه تنش -کرنش آن به ویژه تحت کشش است، باعث تمرکز بسیاری از تحقیقات بر روی آن شده است. رفتار سختشوندگی کرنش تحت کشش که با سایر کامپوزیتهای سیمانی و بتنی متفاوت است، از HPFRCCیک مصالح توانمند با قابلیت جذب انرژی بالا و تشکیل ترکهای زیاد ساخته است.

در تیر بتنی مرجع CB، ترک ها با نرمشوندگی منحنی تنش -کرنش کششی همراه شده و ظرفیت باربری سازه با افزایش ترکها کاهش مییابد. لذا تکیه بر آرماتور برای حفظ سازه ضروری است. اما در تیرهای با لایه تحتانی HPRFCC میکروترکها باعث ورود مصالح به مرحله سختشوندگی شده و ظرفیت باربری بالا می رود. که این افزایش در نمونههای با الیاف بیشتر محسوس تر میباشد.

در تیر بتن مسلح مرجع CB، جاری شدن فولاد در نقاطی متمرکز میشود که آرماتور ترکهای بتن را قطع کند و بخاطر عدم تطابق تغییر شکل بین بتن و فولاد، انهدام ایجاد میشود. در حالی که در تیرهای مقاومسازی شده با HPFRCC، جاری شدن فولاد در طول و سطح بزرگتری اتفاق میافتد و از فولاد استفاده موثرتر و بهتری به عمل میآید. در نمونههای با الیاف ۳٪ تا حدود کمی این گسترش محسوستر میباشد.

به سبب رفتار سختشوندگی کرنش HPFRCC، عمق تار خنثی مقطع و در نتیجه متغیر (a) و به تبع آن لنگر مقاوم تیر مقاوم سازی شده با HPFRCC نسبت به تیر بتن معمولی CB افزایش مییابد. مقادیر ظرفیت خمشی بر اساس آزمایشگاهی در خصوص تیر بتن مسلح تقویت شده با HPFRCC نسبت به تیر معمولی برای ۱٪ الیاف حدود ۲۳٪و برای ۳٪ الیاف حدود ۲۶٪ میباشد.

جذب انرژی در نمونههای ۱٪ الیاف کمتر از نمونههای ۳٪ الیاف میباشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵-پیشنهادات

۱. بررسی رفتار تیرهای مقاوم‌سازی شده با HPFRCC تحت بارگذاری‌های متمرکز، گسترده، رفت و برگشتی .

۲. بررسی خصوصیات مفاصل پلاستیک در تیرهای مقاوم‌سازی شده با HPFRCCتحت بارگذاری‌های متمرکز، دونقطه‌ای و گسترده.

۳. بررسی عواملی نظیر تاثیر ضخامت لایه مقاوم‌سازی شده با HPFRCC، میزان فولاد کششی و فشاری، میزان مقاومت کششی و فشاری بتن و ...بر کلیه پارامترها.

۴. تاثیر مقاوم‌سازی با لایه HPFRCCدر محیط‌های خورنده و بررسی دوام.

مراجع و منابع

۱.Aveston. J. Cooper G.A and Kelly A. ۱۹۷۱. “single and multiple fracture, the properties of fiber composites” conference proceedings of national phusical laboratory, IPC, Science and technology press, Ltd , ۱۴-۲۴.

۲.Bolander, J.۱۹۹۹. “Spring network model of fiber reinforced cement composites” high performance fiber reinforced cement composites. HPFRCC ۳, H.W. Reingardt and A.E. Naaman ۳۴۱-۳۵۰

۳.Curbach , M. and jesse, f. ۱۹۹۹, “High-performance textile-reinforced concrete” structural engineering international ۹(۴،۱):۲۸۹-۲۹۱(۳).

۴.Krenchel H. and stang H.۱۹۸۹ “stable microcracking in cementitious materials” in brittle matrix composites ۲.A.M. Brandt and J.H. Marshall, eds. ۲۰-۳۳.

۵.Naaman A.E. ۲۰۰۳ “Engineered steel fibers wigh optimal properties for reinforcement of cement composites. Journal of advanced concrete technology. ۱(۳) ۲۴۱-۲۵۲.

۶.Naaman, A.E. and Reinhardt, H.W. ۲۰۰۳. “setting the stage : toward performance- based classification of FRC composites” in high performance fiber reinforced cement composites (HPFRCC-۴) proc. Of the ۴th int l RILEM workshop. A.E. Naaman and H.W Reinhardt.

۷.Naaman A.E.۱۹۹۲. “SIFCON: tailored properties for structural performance” in high performance fiber reinforced cement composites, H.W. Reinhardt and A.E. naaman , eds. ۱۸-۳۸.

۸.Romualdi J.P. and batson G.B. ۱۹۶۳ “mechanics of crack arrest in concrete”. Journal of Engineering Mechanics, ASCE Proc. ۸۹(EM۳) :۱۴۷-۱۶۸.

۹.Romualdi J.P. and mandel J.A ۱۹۶۴ “tensile strength of concrete affected by uniformaly distributed and closely spaced short lengths of wire reinforcement”. Journal of ACI , ۶۵۷-۶۷۰ .

۱۰.Vandewalle, L. et al ۲۰۰۳. “RILEM TC ۱۶۲-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete” sigma-epsilon-design method-final recommendation. Materials and structures ۳۶(۲۶۲):۵۶۰-۵۶۷.

www.SID.ir