جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت سهامی آب منطقه ای زنجان

کمیته تحقیقات

خلاصه گزارش

ارائه روش طراحی نوین ساپورت تونل مبتنی بر نظریه میکروترک‌های القائی در مکانیک شکست

سازمان مجری : دانشگاه صنعت آب و برق

پژوهشگران :

داود اسدی نیا

یوسف علی بخشی

زمان انتشار : شهریور ۱۳۹۵

خلاصه گزارش :

با عنایت به این امر که امروزه استفاده از شاتکریت و بتن در کاربردهای سازه‌ای رواج فراوانی پیدا کرده است، ولی هنوز به عنوان یک مصالح ساختمانی معایبی از قبیل مقاومت کششی پایین، عدم شکل پذیری، وزن زیاد و مسائل دوام ان نیز مطرح می‌باشد. در نتیجه، در این پروژه سعی بر این شده است که بتوانیم رفتار واقعی شاتکریت و سازه بتنی تونل را از دیدگاه مکانیک شکست تحقیق و بررسی نماییم. به عبارت دیگر، وجود ترک در شاتکریت و بتن چه در حین آماده سازی و چه در حین اجرا امری کاملا اجتناب ناپذیر است، بنابراین بدون در نظر گرفتن اثر آن ممکن است ایمنی سازه مورد نظر ما به خطر افتد. بنابراین، تعیین خصوصیات شکیت شاتکریت و سازه تونل و بکار گیری آنها در بسیاری از پروژه‌های مهندسی، اعم از طراحی و نحوه شکست در سیستم نگهداری تونل‌ها، کشتی‌ها، شکست هیدرولیکی، تحلیل پایداری شیبهای سنگی، مکانیک زلزله، حفاری‌های زیرزمینی، تونلهای انتقال آب، سدهای بتنی وزنی و سازه‌هایی مثل آبگیرها و دریچه سدها می‌تواند سبب افزایش فاکتور ایمنی سازه و صرفه جویی اقتصادی گردد.

در واقع، هدف کلی از انجام این پروژه، بدست آوردن مقدار ضرایب تنش بحرانی یا چقرمگی شکست شاتکریت و تعیین خصوصیات شکست اعم از شعاع پلاستیسیته نوک ترک، زاویه رشد ترک می‌باشد. لازم به ذکر است که آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه اصلاح شده آرکان و بر روی نمونه‌های پروانه‌ای و مستطیلی شکل و دارای ترک منفرد لبه‌ای تیز و بااستفاده از تئوری مکانیک شکست الاستیک خطی و شرایط کرنش صفحه ای انجام خواهد گردید.

در حالت کلی برای محاسبه چقرمگی شکست، ابتدا با استفاده از روش عددی (به کمک نرم‌افزار ABAQUS)، ضرایب شدت تنش بی‌بعد برای حالتهای مختلف بارگذاری مد کششی خالص، مد برشی خالص و مد مرکب محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از روشهای آزمایشگاهی، بار بحرانی شکست را بدست آورده و درنهایت چقرمگی شکست و نرخ رهائی انرژی کرنشی و سایر خصوصیات شکست شاتکریت، اعم از شعاع پلاستیسیته نوک ترک و زاویه رشد ترک در زوایای متفاوت بارگذاری (مد کششی خالص mode I، مد برشی خالص mode II، و مدهای مرکب) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته ؛ و در نهایت امر با نتایج بدست آمده از روشهای آزمایشگاهی درستی و یا نادرستی آن کنترل می‌گردد.

هدف از انجام آزمایش بر روی شاتکریت، بدست آوردن مقدار ضرایب شدت تنش بحرانی یا چقرمگی شکست (K_c) و تعیین خصوصیات شکست اعم از شعاع پلاستیسیته نوک ترک، زاویه رشد ترک، مقدار بازشدگی ترک در حالت کرنش صفحه ای می‌باشد.

استانداردهای ASTM با عنوان‌های E399 و D5045 راهنمایی‌ها را درباره آزمایشات چقرمگی شکست مد کششی در حالت کرنش صفحه‌ای (K_{IC}) در اختیار ما قرار می‌دهند.

در حالت کلی برای محاسبه چقرمگی شکست با استفاده از روش آزمایش اصلاح شده آرکان، ابتدا با استفاده از روش عددی (به کمک نرم‌افزار ABAQUS)، ضرایب شدت تنش بی‌بعد f (a/w) را برای حالتهای مختلف بارگذاری مد کششی خالص، مد برشی خالص و مد مرکب محاسبه می‌کنند و سپس با استفاده از روشهای آزمایشگاهی، بار بحرانی شکست را بدست می‌آورند و در نهایت مطابق با فرمول چقرمگی شکست شاتکریت در حالتهای مختلف بارگذاری را محاسبه می‌کنند. چقرمگی شکست یا ضریب شدت تنش K_c در راس یک ترک در یک نمونه کششی از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$k_c = \frac{P_c\sqrt{\pi a}}{wt} f(a/w)$$

که P_c عبارت از بار بحرانی شکست، w پهنای نمونه، t ضخامت نمونه و f(a/w) برابر با ضریب هندسی است. مکانیک شکست الاستیک خطی و شرایط کرنش صفحه‌ای، شرایط لازم و اولیه هستند. ضرایب شدت تنش در جلوی راس ترک برای یک نوع اصلاح شده نمونه آرکان با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\mathrm{k_{Ic}} = \frac{\mathrm{p_c}\sqrt{\pi \mathrm{a}}}{\mathrm{wt}} \mathrm{f_I(a/w)}$$

$$\mathrm{k_{IIc}} = \frac{\mathrm{p_c}\sqrt{\pi \mathrm{a}}}{\mathrm{wt}} \mathrm{f_{II}(a/w)}$$

$\mathrm{k_{Ic}}$ و $\mathrm{k_{IIc}}$ به ترتیب با استفاده از ضرایب هندسی $f_I(a/w)$ و $\mathrm{f_{II}(a/w)}$ محاسبه می‌شوند که از طریق تحلیل المان محدود نمونه آزمایش آرکان بدست می‌آیند. همچنین نرخ رهایی انرژی کرنشی برای اجسام ایزوتروپیک دارای ترک منفرد لبه‌ای تیز از روابط زیر محاسبه می‌شوند :

$$\mathrm{G_I} = \frac{\mathrm{k_I^2}}{\mathrm{z}} \qquad \mathrm{G_{II}} = \frac{\mathrm{k_{II}^2}}{\mathrm{E}}$$ (تنش صفحه‌ای)

$$G_I = \frac{(1-v^2)k_I^2}{E} \qquad G_{II} = \frac{(1-v^2)k_{II}^2}{E}$$ (کرنش صفحه‌ای)

خلاصه‌ای از عملکرد دستگاه اصلاح شده آرکان

این وسیله بارگذاری در ابتدا توسط آرکان و همکارانش برای آزمایش اجسام بتن مسلح معرفی شد. این وسیله دایره‌ای شکل است و مرکب از دو قسمت متقارن که نمونه آزمایش به آنها متصل می‌شود.

سپس بارهای کششی از طریق سوراخهایی که در گرداگرد کناره وسیله بارگذاری قرار گرفته‌اند به نمونه اعمال می‌شود. این وسیله بعدا برای آزمایش شکست مد برشی خالص بکار گرفته شد، به خاطر اینکه طراحی آن طوری بود که یک ناحیه مهمی از حالت تنش برشی خالص توزیع شده یکنواخت را در اطراف راس ترک فراهم می‌ساخت. بنکس–سیلس و همکارانش بعدا نشان دادند که در داخل یک ناحیه محدود شده از شرایط بارگذاری مد مرکب، که بوسیله آن مد برشی غالب است، تقریبا حالتهای تنش یکنواخت در اطراف کل ترک ایجاد می‌شود.

بنابراین شرایط مد مرکب می‌تواند در امتداد طول ترک کل و نه فقط در راس آن تجربه گردد. دو نوع از این هندسه آزمایش موجود هستند؛ یک نمونه ترک‌دار لبه‌ای و یک نمونه ترک‌دار مرکزی. از این دو نوع، نمونه ترک‌دار لبه‌ای به خاطر اینکه راحت‌تر تهیه و برش داده می‌شود و نیاز به نیروی اعمالی کمتری برای شکست دارد، کاربرد بیشتری دارد. همچنین ایجاد پیش ترک خستگی در آن به راحتی با یک راس ترک مجزا کنترل می‌شود.

یک محدوده کامل از شرایط بارگذاری مد کششی-برشی را می‌توان بر روی راس ترک اعمال کرد. بارگذاری مد کششی خالص با استفاده از بارهای کششی عمود بر ترک انجام می‌شود در حالی که مد برشی خالص با بارهای اعمالی موازی با ترک حاصل می‌شود. شرایط مد مرکب نیز با تغییر زاویه بار نسبت به امتداد ترک حاصل می‌شود. اما با نوشته‌هایی که در دست است، فقط تحلیل‌های عددی خیلی محدودی برای بدست آوردن تغییرات ضرایب شدت تنش با هندسه آزمایش انجام گرفته است.

یک اشکال مهم وارد به این روش، نصب و تجهیز آزمایشگاهی آن است و نیازمند این است که نمونه و وسیله بارگذاری به عنوان بخشی از یک سیستم پیوسته، کاملا به هم متصل شده باشند. این مورد نیازمند است که اندازه نمونه‌ها و دستگاه بارگذاری دقیقا بر همدیگر منطبق باشند. بنابراین برای نمونه‌های کوچک بایستی متقابلا نوع

کوچکتر دستگاه بکار گرفته شود. از طرف دیگر اگر نمونه‌های بزرگ مورد آزمایش واقع شوند، انواع بزرگتری از وسیله آزمایش مورد نیاز خواهد بود. اندازه نمونه‌ها معمولا با توجه به نیازی که برای بدست آوردن شرایط مکانیک شکست الاستیک خطی اعمال شده، (به خاطر محدود شدن بعضی نیازهای ابعادی) یا به خاطر اندازه مصالح موجود محدود است. آن می‌رساند که وابسته بودن مصالح و قابلیت استفاده از آن، اندازه‌های مختلف نمونه ممکن است مورد نیاز باشند. بنابراین اندازه‌های بزرگتری از دستگاه آرکان مورد نیاز خواهد بود.