unesco
Category 2 Centre under the auspices of UNESCO
RCECWA
Regional Education and Research Center on Earthquake Risk Management and Resilience for West and Central Asia
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

تعیین خواص مکانیکی بتن پلیمری تحت بارهای یکنواخت و چرخه‌ای مورد استفاده در لوله‌های بتن پلیمری

مرتضی بسطامی
دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

مصطفی عباس‌نژاد فرد، سید عبدالرضا هاشمی

بتن پلیمری ترکیبی است که از اختلاط سنگ‌دانه‌ها با رزین و بدون حضور سیمان به وجود می‌آید. مقاومت در برابر خوردگی و مقاومت فشاری و کششی بالای این نوع بتن باعث گسترش روزافزون لوله‌های بتن پلیمری در توسعه شبکه‌های فاضلاب شده است. در کشور ایران نیز لوله‌های بتن پلیمر در شبکه فاضلاب در برخی نواحی مورد استفاده قرارگرفته است. با توجه به اینکه تاکنون رفتار این نوع لوله‌ها در برابر زلزله مورد بررسی قرار نگرفته است، لازم دیده شد تا عملکرد این نوع لوله مورد ارزیابی قرار بگیرد. استفاده از بتن پلیمر (PC) در ساخت‌وساز مستلزم ایجاد یک رابطه تنش-کرنش دقیق است که به بتواند به طور دقیق خواص مکانیکی PC را پیش‌بینی کند. با توجه به اینکه هیچ معادله تنش-کرنشی برای بارگذاری چرخه‌ای بتن پلیمر پلی‌استر غیراشباع (UPPC) در ادبیات موجود نیست، هدف تحقیق حاضر ارائه یک مدل تحلیلی منطقی برای تخمین ویژگی‌های مکانیکی UPPC تحت اثر بارهای کششی و فشاری است. در گام اول این پژوهش، آزمایش‌های چرخه‌ای و یکنواخت فشاری و کششی بر روی نمونه‌هایی که به مدت ۲۸ روز نگه‌داری شده بودند، انجام شد و منحنی‌های تنش-کرنش میانگین برای آزمایش‌های یکنواخت کششی و فشاری به‌دست آمد. نمودارهای میانگین تنش-کرنش برای هر دو آزمایش فشاری و کششی تعیین شد و مدول الاستیسیته و ظرفیت جذب انرژی محاسبه شده با مقادیر بتن معمولی (NC) و بتن با مقاومت بالا (HSC) مقایسه شد. روابط تحلیلی برای منحنی‌های یکنواخت و پوش برای آزمایش‌های کششی و فشاری ارائه‌شده‌اند و مدل‌های پیشنهادی با یافته‌های تجربی و نتایج سایر تحقیقات مقایسه شدند. همچنین، روابط تنش-کرنش برای مسیرهای باربرداری و بارگذاری مجدد پیشنهاد شده است و با نتایج آزمایش چرخه‌ای مقایسه گردید. تنش و کرنش نهایی برای UPPC به ترتیب سه و پنج برابر بیشتر از تنش و کرنش نهایی NC در آزمایش کشش بود. کرنش نهایی برای UPPC تقریباً ۱۵۰ درصد بیشتر از کرنش نهایی HSC در آزمایش فشاری بود. تحت بارگذاری فشاری، انرژی جذب‌شده UPPC به ترتیب ۲/۳۳ و ۵/۳ برابر بیشتر از HSC و است. نتایج نشان داد که منحنی‌های پوش به‌خوبی با منحنی‌های یکنواخت برای آزمایش‌های فشاری و کششی مطابقت دارند. همه مدل‌های پیشنهادی با داده‌های تجربی موجود و نتایج مطالعات قبلی به‌خوبی انطباق داشتند.

بتن پلیمری در ساخت ابنیه زیرساختی استفاده می‌شوند که در طول زمان بهره‌برداری خود در معرض محیط‌های خورنده قرار می‌گیرند. در قسمت دوم این پژوهش، اثر اسیدسولفوریک بر مشخصات مکانیکی UPPC مورد بررسی قرار گرفت که نوع رایج محلول اسیدی موجود در خطوط لوله فاضلاب است. بدین منظور، ۴۵ نمونه مکعبی ساخته‌شده و به مدت ۲۸ روز عمل‌آوری شد. ۳۰ نمونه در محلول ۵ درصد و ۱۵ درصد حجم

Evaluation of the Mechanical Properties of Polymer Concrete Under Monotonic and Cyclic Loadings Used in Polymer Concrete Pipes

Morteza Bastami
Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Morteza Abbasnejad Fard, Seyyed Abdolreza Hashemi

The use of polymer concrete (PC) in construction requires the development of an accurate stress-strain relationship which can accurately predict the mechanical properties of PC. Given that no constitutive equation for cyclic loading of unsaturated polyester PC (UPPC) is available in the literature, the goal of the current research has been to propose a rational analytical model for estimating the mechanical characteristics of UPPC under tensile and compressive loading. Compressive and tensile cyclic and monotonic tests were performed on specimens which had been cured for 28 days and the average monotonic stress-strain curve was obtained for the monotonic tests. The average maximum stress and strain were determined for both the compressive and tensile tests and the elastic modulus and energy absorption capacity were computed and compared with the values for normal concrete (NC) and high strength concrete (HSC) materials. Analytical models for the monotonic and skeleton curves for both tensile and compressive tests have been provided, and the proposed models were compared to experimental findings and other research results for validation. Stress-strain relationships have been proposed for the unloading and reloading paths and were compared with the cyclic test results. The ultimate stress and strain for the UPPC were three and five times higher, respectively, than for the NC in tension testing. The ultimate strain for UPPC was almost 150% greater than the final strain of HSC in compression. Under compressive loading, the UPPC absorbed to 2.33 and 5.3 times more energy, respectively, than the HSC and NC. The results showed that the skeleton curves agreed well with the monotonic curves for the compressive and tensile tests. All of the proposed models agreed well with the available experimental data and previous study results.

The other object of this study was to investigate the effect of sulfuric acid on the mechanical characteristics of unsaturated polyester PC (UPPC), which is the common type of acidic solution that exists in sewer pipelines. Therefore, 45 cubic specimens were fabricated and cured for 28 days. Thirty specimens were immersed in 5%vol and 15%vol of sulfuric acid, and uniaxial compressive tests were conducted in intervals of 7, 28, 56, 84, and 180 days. Moreover, monotonic and cyclic tests were performed on cylindrical and dumbbell-shaped specimens for compressive and tensile

tests, respectively, to describe the stress-strain curves of UPPC specimens exposed to a sulfuric acid environment for 180 days. The elastic modulus, energy absorption capacity, and stiffness degradation ratio were computed and compared with the corresponding values for controlling specimens as well as normal concrete (NC) and high strength concrete (HSC) materials. Results indicated that the maximum decreases of the compressive and tensile strength were observed in those specimens which immersed in 15%vol of sulfuric acid; these reductions were 33% (70 MPa) and 21% (8 MPa), respectively, compared to the controlling specimens. Although the specimens in 15% sulfuric acid showed the most reductions in maximum strength and peak strain when compared to those in 5% sulfuric acid, they still have significantly higher compressive strength, tensile strength, energy absorption ratio, and energy dissipation than the NC and HSC results. The average envelope curves of compressive and tensile cyclic tests for controlling specimens and those specimens which submerged in 5% and 15% acid were depicted. Comparison between the envelope curves and monotonic results indicated that the envelope curves traced the monotonic stress-strain responses very well. Also, appropriate stress-strain relationships were proposed for tension and compression for specimens exposed to sulfuric acid.

In the final section of this study, the effect of dip angle and pipe diameter was investigated during the finite element analysis of buried segmented Polymer Concrete subjected to fault displacement. The ABAQUS software was used to create a detailed pipeline model. The structural response and damage failure performance of the pipe barrels and joints were examined and discussed. The results revealed that as the fault's displacement increased, the rotation angle of the middle pipe enhanced (pipe number 9). As the dip angle increases, the relative displacement of middle pipe increases due to the enhancement of the vertical displacement of the pipes. Increasing the pipe diameter reduces pipe rotation caused by damage to the pipe body. The equivalent bending moment at the occurrence of the first failure was calculated in respect to the fault angles and the pipe diameters. Due to the increase of the elastic modulus of the section and the occurrence of more strains in pipes with a larger diameter, the highest bending moments were observed in these pipes.

Keywords: Unsaturated polyester polymer concrete (UPPC), Chemical resistance, Monotonic and cyclic tests, Constitutive equation, Energy dissipation, Buried Pipelines, Fault dislocation

اسیدسولفوریک غوطه‌ور شدند و آزمایش‌های فشاری تک‌محوری در فواصل زمانی ۷، ۲۸، ۵۶، ۸۴ و ۱۸۰ روز انجام شد. علاوه بر این، آزمایش‌های یکنواخت و چرخه‌ای بر روی نمونه‌های استوانه‌ای و دمبل‌شکل برای آزمایش‌های فشاری و کششی انجام شد تا بتوان منحنی‌های تنش-کرنش نمونه‌های UPPC در معرض محیط اسیدسولفوریک را به مدت ۱۸۰ روز توصیف کنند. مدول الاستیسیته، ظرفیت جذب انرژی و نسبت افت سختی محاسبه و با مقادیر مربوطه برای نمونه‌های شاهد و همچنین بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا مقایسه شد. نتایج نشان دادند که حداکثر کاهش مقاومت فشاری و کششی در نمونه‌هایی مشاهده شد که در محلول اسیدسولفوریک ۱۵ درصد غوطه‌ور شدند. این کاهش‌ها به ترتیب ۳۳ درصد (۷۰ مگاپاسکال) و ۲۱ درصد (۸ مگاپاسکال) در مقایسه با نمونه‌های کنترل‌کننده بودند. اگرچه نمونه‌های موجود در اسیدسولفوریک ۱۵ درصد بیشترین کاهش حداکثر مقاومت و کرنش را در مقایسه با نمونه‌های اسیدسولفوریک ۵ درصد نشان دادند، اما همچنان مقاومت فشاری، استحکام کششی، نسبت جذب انرژی و اتلاف انرژی قابل‌توجهی نسبت به NC دارند. منحنی‌های پوش متوسط بدست آمده از آزمایش‌های چرخه‌ای فشاری و کششی برای نمونه‌های کنترل و نمونه‌هایی که در اسید ۵ درصد و ۱۵ درصد غوطه‌ور شده‌اند با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه بین منحنی‌های پوش و نتایج تنش-کرنش یکنواخت نشان دادند که این دو منحنی به‌خوبی برهم دیگر منطبق هستند. همچنین، روابط تنش-کرنش مناسب برای کشش و فشار برای نمونه‌های در معرض اسیدسولفوریک پیشنهاد شدند.

لوله‌های بتن پلیمر در سال‌های اخیر در ساخت لوله‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گرفتند. دلیل استفاده از این لوله‌ها مقاومت بالای فشاری و کششی بتن پلیمر و دوام این نوع بتن در برابر محیط خورنده فاضلاب است. در قسمت پایانی مطالعه، پاسخ مکانیکی لوله بتن پلیمر در برابر جابه‌جایی ناشی از گسل تحت زوایای مختلف گسل و قطرهای مختلف لوله بررسی شدند. بدین منظور ابتدا آزمایش‌های کششی، آزمایش فشاری و آزمایش دوران لوله که در قسمت قبل توصیف‌شده بود، با کمک نرم‌افزار اجزای محدود مدلسازی و صحت‌سنجی شدند. سپس مدل‌های گسلش با زوایای مختلف و لوله‌های با قطر متفاوت تحت نرم‌افزار مدلسازی شدند و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شدند.

واژه‌های کلیدی: بتن پلیمر، مقاومت کششی و فشاری، لوله‌های بتن پلیمر، آزمایش‌های یکنواخت و چرخه‌ای، محیط خورنده، لوله مدفون در خاک، جابه‌جایی گسل