

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Technology
Building & Construction Engineering
Department



Tensile Behavior of Reactive Powder Concrete

*A Thesis
Submitted to the Department of Building and Construction
Engineering of the University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Structural Engineering*

By

Lubna Salim Danha

(B.Sc. Structural Eng. / University of Technology /2004)

2012

1433

38-M-12

Abstract

A new generation of Ultra High Performance Concrete (UHPC) named Reactive Powder Concrete (RPC) was developed in the last decades, which offers, superior strength, durability and ductility. One of the main differences between other concretes and RPC is that the latter requires mechanical models capable of taking tensile behavior into account for structural application to enable the material to be fully exploited.

The present research represents an experimental and theoretical contribution to the understanding of the tensile and bending behavior of RPC. An experimental investigation is carried out to specify and investigate some mechanical properties of RPC which are particularly required as input data for structural design. These properties include compressive strength, direct tensile strength, splitting tensile strength, flexural tensile strength, flexural toughness and static modulus of elasticity. In addition, the complete stress-strain relationships in tension and compression of RPC are established and general equations for expressing such relationships are obtained. On all these properties of RPC which are investigated in this research, the effects of three variable parameters are carefully studied and discussed which are the superplasticizer type (Sikament®-163N and PC200), silica fume content SF (0%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%) and steel fibers volume fraction V_f (0%, 1%, 2% and 3%). Proposed expressions relating the mechanical properties of RPC with each other are established in this research using the technique of regression analysis based on the data obtained from the present research work. And finally analytical study is devoted to establish a simple equation for predicting the nominal bending moment capacity (M_n) of singly reinforced rectangular RPC sections. The proposed M_n equation is derived based on idealized stress blocks for both compression and tension.

The experimental results indicated that using PC200 in an RPC mix rather than Sikament®-163N gave a much lower w/cm ratio. Accordingly the cylinder compressive strength, direct tensile strength, splitting tensile strength and flexural

tensile strength with PC200 were higher by 12.97%, 6.30%, 7.59%, and 9.18% respectively than that with Sikament®-163N admixture.

It was found from the experimental test results that increasing the steel fibers volume fraction V_f from 0% to 3% and the silica fume content SF from 0% to 30% increase the cube compressive strength by 9% and 34%, cylinder compressive strength by 12% and 41%, direct tensile strength by 238% and 17%, splitting tensile strength by 258% and 16% and flexural tensile strength by 217% and 19% respectively.

The experimental results of the compressive stress-strain relationship obtained for different RPC mixes, showed that increasing the silica fume content caused the ascending part of the compressive stress-strain curve to become steeper giving higher modulus of elasticity as well as an apparent increase in compressive strength, but there was no clear effect on the value of its corresponding strain. It was also found that the addition of steel fibers slightly increased the slope of the ascending portion of the stress-strain curve, but there was a clear increase in strain at peak stress and an increase in ductility.

With regard to the tensile stress-strain relationship of RPC, it was found that the three main variables of the present investigation had no significant effect on the shape of the ascending part of the stress-strain curve, while the descending part of the curve was found to be considerably affected by the volume fraction V_f of the steel fibers used. Increasing V_f from 0% to 3% resulted not only in increasing the area under the tensile stress-strain curve, but also increased both the maximum tensile strength from 3.64 to 12.32 MPa and its corresponding strain from 0.00009 to 0.00373. Two nonlinear equations are suggested in this research to model the ascending and descending part of the tensile stress-strain relationship which are found suitable to represent the tensile behavior of the RPC mixes.

A simple and accurate equation for the prediction of the nominal bending moment capacity M_n of plain and singly reinforced rectangular RPC sections is derived which shows good agreement with the flexural test results performed in the present research and some previous investigations on RPC beams.



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة البناء والإنشاءات

سلوك الشد لخرسانة المساحيق الفعالة

رسالة مقدمة إلى
قسم هندسة البناء والإنشاءات في الجامعة التكنولوجية
كجزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الهندسة الإنشائية

تقدمت بها

لبنى سالم دنحا

(بكالوريوس هندسة إنشائية/الجامعة التكنولوجية/ 2004)

2012

1433

38-M-12

الخلاصة

يعتبر الجيل الجديد من الخرسانة فائقة الأداء والمسمى بخرسانة المساحيق الفعالة والذي تم تطويره في العقود الاخيرة ذو ميزات عديدة فهو يوفر مقاومة وديمومة ومطيلية متفوقة. إن أحد الاختلافات الرئيسية بين انواع الخرسانة الاخرى و خرسانة المساحيق الفعالة هو أن النوع الأخير يحتاج الى موديلات ميكانيكية قادرة على أخذ سلوك الشد في الاعتبار لإمكانية استغلال المادة بشكل كامل في التطبيقات الانشائية.

يقدم البحث الحالي مساهمة عملية ونظرية لفهم سلوك الشد والانحناء لخرسانة المساحيق الفعالة. حيث تم إجراء تحري عملي لتحديد ووصف بعض الخواص الميكانيكية لخرسانة المساحيق الفعالة خصوصاً تلك التي يتطلبها التصميم الانشائي. وقد شملت هذه الخواص مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد المباشر ومقاومة شد الانشطار ومقاومة شد الانحناء وصلابة الانحناء ومعامل المرونة الستاتيكي. إضافة إلى ذلك تم ايجاد العلاقة المتكاملة للإجهاد-الإنفعال في حالتي الشد والانضغاط لخرسانة المساحيق الفعالة، كما تم ايجاد معادلات عامة للتعبير عن هذه العلاقات. كذلك فانه لكافة خواص خرسانة المساحيق الفعالة التي تم تقصيدها في هذا البحث، تم بعناية دراسة ومناقشة تأثير ثلاث متغيرات والتي هي نوع الملدن المتفوق (Sikament®-163N, PC200) ومحتوى ابخرة السليكا المكثفة (0%، 10%، 15%، 20%)، (25%، 30%) ونسبة الالياف الفولاذية (0%، 1%، 2%، 3%). إضافة الى ذلك تم ايجاد علاقات تربط بين الخواص الميكانيكية لخرسانة المساحيق الفعالة باستخدام تقنية تحليل الارتداد (regression analysis) استناداً إلى البيانات التي تم الحصول عليها من أعمال البحث الحالي. واخيراً تم إجراء دراسة تحليلية لإيجاد معادلة بسيطة يمكن بواسطتها احتساب عزم الانحناء الاسمي الاقصى (M_n) لمقاطع مستطيلة مفردة التسليح من هذه الخرسانة. إن معادلة M_n المقترحة قد تم اشتقاقها اعتماداً على تبني كتل اجهاد نموذجية لكل من الانضغاط والشد.

أظهرت النتائج المختبرية أنه بوجود الملدن المتفوق PC200 كانت نسبة الماء الى الاسمنت اقل بكثير منها بوجود الملدن المتفوق Sikament®-163N، وبناءً عليه فان مقاومة انضغاط الاسطوانة ومقاومة الشد المباشر ومقاومة شد الانشطار ومقاومة شد الانحناء مع PC200 كانت أعلى بنسبة 12,97% و 6,30% و 7,59% و 9,18% على التوالي منها مع Sikament®-163N.

لقد وجد من نتائج الفحوصات المختبرية أن زيادة كل من نسبة الالياف الفولاذية من 0% الى 3% ومحتوى ابخرة السليكا المكثفة من 0% إلى 30% في الخلطة الخرسانية يؤدي الى زيادة كل من مقاومة انضغاط المكعب بنسبة 9% و 34% ومقاومة انضغاط الاسطوانة بنسبة 12% و 41% ومقاومة الشد

المباشر بنسبة 238% و 17% ومقاومة شد الانشطار بنسبة 258% و 16% ومقاومة شد الانحناء بنسبة 217% و 19% على التوالي.

اظهرت النتائج العملية التي تم الحصول عليها من علاقة إجهاد-انفعال الانضغاط لخلطات خرسانة المساحيق الفعالة المختلفة أنه بزيادة محتوى ابخرة السليكا المكثفة فإن الجزء الصاعد من منحنى الإجهاد-الانفعال يصبح أشد انحداراً معطياً معامل مرونة ستاتيكي اعلى، بالإضافة الى زيادة واضحة في مقاومة الانضغاط f'_c ولكن ليس هناك تأثير واضح على قيمة الانفعال المصاحبة لها ϵ_o . ولقد وجد أيضاً أن إضافة الألياف الفولاذية تؤثر قليلاً على ميل الجزء الصاعد من منحنى الإجهاد-الانفعال، ولكن هناك زيادة واضحة في قيمة الانفعال ϵ_o المصاحبة لمقاومة الانضغاط القصوى f'_c وزيادة في المطيلية.

وفيما يخص علاقة إجهاد-انفعال الشد لخرسانة المساحيق الفعالة ، فقد وجد أن المتغيرات الثلاث الرئيسية للبحث الحالي لم يكن لها تأثير كبير على شكل الجزء الصاعد من منحنى الإجهاد-الانفعال، في حين وجد أن الجزء النازل من المنحنى يتأثر بشكل كبير بتغير النسبة الحجمية للألياف الفولاذية المستخدمة. كما أظهرت النتائج أن زيادة نسبة الألياف الفولاذية من 0% إلى 3% لا تؤدي الى زيادة المساحة تحت منحنى إجهاد-انفعال الشد فحسب وإنما تزيد أيضاً كل من مقاومة الشد القصوى من 3,64 الى 12,32 MPa والانفعال المصاحب لها من 0,00009 الى 0,00373. ولقد وجد ان المعادلتين اللاخطية المقترحة لنمذجة الجزء الصاعد والنازل من منحنى إجهاد-انفعال الشد مناسبة لتمثيل سلوك الشد لخرسانة المساحيق الفعالة.

اظهرت المعادلة المشتقة لاحتساب عزم الانحناء الاسمي الاقصى Mn لمقاطع مستطيلة غير مسلحة ومفردة التسليح من خرسانة المساحيق الفعالة توافقا جيدا مع نتائج فحص الانحناء التي أجريت في البحث الحالي وبعض البحوث السابقة الأخرى على عتبات خرسانة المساحيق الفعالة.