

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Mosul/College of Engineering
Civil Engineering Department



BEHAVIOR OF RC BEAMS STRENGTHENED WITH CFRP UNDER COMBINED ACTIONS

A Thesis

**Submitted to the Council of the College of Engineering,
University of Mosul, in Partial Fulfillment of the requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering
(STRUCTURES)**

By

Khalaf Ibrahim Mohammad

M.Sc. in Civil Engineering

Supervised by

Prof. Dr. Bayar Jaafar AL-Sulayfani

December 2011 A.D.

Safar 1433 A.H.

ABSTRACT

Failure of a structural member under torsion is brittle in nature and should be avoided as it compromises the ductile behavior of the structure. Under various cases of loading and geometric configuration, concrete structural members are subjected to significant torsion accompanied by either bending, or shear and bending. A limited number of experimental studies were conducted to study torsional behavior of reinforced concrete (RC) beams strengthened with Fiber-Reinforced Polymers (FRP). None were conducted to investigate the strengthening RC beams under combined action of torsion and bending moment.

An experimental study has been conducted to investigate the behavior of reinforced concrete beams strengthened with Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) under combined torsion and bending moment effect. The beams were tested while subjected to different torsion to moment ratio. A total of twenty beams were tested. The beams were divided into four groups. Each group consisted of a reference unstrengthened beam and four beams with different strengthening schemes to identify the contribution of CFRP sheets on the strengthened beams. Four strengthening schemes were proposed and implemented. The effectiveness of proposed schemes was evaluated. . Variables investigated in the test program included: the torsion to bending moment ratio (T/M) and the strengthening schemes. Different torque to bending moment ratios (T/M) of 0.0, ∞ , 0.3 and 0.6 were reported, analyzed, and discussed for each testing group. Variables considered in the test program for strengthening schemes

include the number of strengthened faces of the beam (three sides, i.e. U-wrap, or four sides, i.e. full wrap) and width of used CFRP (i.e., stirrup form or continuous wrapping). Strengthening schemes were chosen based on the practical needs and the field conditions.

Employing externally bonded CFRP sheets resulted in an increase in ultimate strength. The amounts of increases in ultimate strength were mainly dependent on the strengthening configuration and type of loading. The increase in ultimate strength of the strengthened beams reached values of about 73% for strengthening in pure torsion and between 19% and 54 % for strengthening in combined loading. Moreover, strengthening changes the mode of failure of the beams.

A finite element model, using the ANSYS program release 11.0 was presented in this study to predict the overall behavior of reinforced concrete members strengthened with CFRP sheets under combined torsion and bending effect. The general behaviors of the finite element models represented by the load-deflection and torque-twist show quantify agreement with the test data. However, the finite element models show a slightly stiffer response than the test data in both the linear and nonlinear ranges.

Finally, the design guidelines for FRP- strengthening suggested by *fib*- Bulletin 14 and ACI 440.2R-08 were evaluated based on the comparison made along with the present experimental results.

الخلاصة

يتميز فشل الأجزاء الإنشائية تحت تأثير عزوم اللي بطبيعته الحادة والفجائية، وهذا النوع من الفشل يجب الحذر منه وذلك لتأثيره السيئ على سلوك المنشأ. وفي كثير من الحالات تتعرض الأجزاء الإنشائية الخرسانية إلى عزوم اللي المرافقة لعزوم الانحناء أو عزوم الانحناء مع قوى واجهادات القص، الناتجة من الأحمال المسطحة على المنشأ أو بسبب الشكل الهندسي لمقطع الجزء الخرساني. وقد انجز عدد محدود من الدراسات المختبرية للتحري عن سلوك العتبات الخرسانية المسلحة والمقواة باللدائن (البوليمرات) المعززة بالالياف تحت تأثير عزوم اللي، ولم تنجز اي دراسة مختبرية لدراسة سلوك هذه العتبات تحت تأثير الاحمال المركبة من عزوم اللي وعزوم الانحناء.

الدراسة الحالية هي دراسة مختبرية للتحري عن سلوك العتبات الخرسانية المسلحة والمقواة باللدائن (البوليمرات) المعززة بالياف الكاربون تحت تأثير عزوم اللي وعزوم الانحناء. وانجزت الدراسة بفحص 20 عتب خرساني تحت تأثير قيم مختلفة من نسبة عزم اللي الى عزم الانحناء. وقد قسمت نماذج الفحص الى اربعة مجاميع، كل مجموعة تحتوي على عتب خرساني غير مقوى(مرجعي) واربعة عتبات اخرى مقواة باشكال وانماط مختلفة من التقوية باللدائن المعززة بالياف الكاربون لمعرفة وتقييم مقدار مساهمة وكفاءة اللدائن المعززة بالالياف في تحسين سلوك ومقاومة الاعتاب الخرسانية. والمتغيرات الرئيسية التي تم التركيز عليها هي نسبة عزم اللي الى عزم الانحناء واشكال وانماط التقوية بالالياف. وكانت نسب عزم اللي الى عزم

الانحناء في هذه الدراسة ∞ , 0.6, 0.3, 0.0،، فيما وقع الاختيار على اربعة اشكال من اشكال التقوية بالالياف القابلة للتنفيذ في مواقع العمل.

واظهرت نتائج الفحوصات ان اللدائن المعززة بالياف الكربون تعزز مقاومة العتبات الخرسانية المسلحة بنسب متفاوتة تعتمد بصورة رئيسية على شكل التقوية وطبيعة الاحمال المسلطة على العتب الخرساني. وقد وصلت نسبة الزيادة في مقاومة العتبات الخرسانية الى 73% في حالة عزوم اللي فقط. وتصبح هذه النسبة اقل في حالة الاحمال المركبة من عزوم اللي والانحناء. كما ان شكل الفشل النهائي يتغير اعتمادا على شكل ونمط التقوية بالالياف.

استخدمت العناصر المحددة في برنامج الحاسوب ANSYS 11.0 لتمثيل ونمذجة العتبات الخرسانية لغرض الحصول على نموذج رياضي عددي للتنبؤ بسلوك العتبات الخرسانية والمقواة باللدائن المعززة بالياف الكربون تحت تأثير عزوم اللي والانحناء. ولوحظ من المقارنة بين النتائج المختبرية والنتائج التي حصلنا عليها من نموذج العناصر المحددة ان التوافق معتدل بصورة عامة مع زيادة ملحوظة في صلابة النتائج التحليلية في المراحل الاولى لتسليط الاحمال وفي المراحل النهائية عند الفشل النهائي.

واخيرا قورنت النتائج المختبرية مع المدونات العالمية المتوفرة لتصميم العتبات الخرسانية المسلحة والمقواة باللدائن المعززة بالياف الكربون تحت تاثير الاحمال المختلفة.



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل / كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

سلوك العتبات الخرسانية المسلحة والمقواة بالبوليمرات المعززة بالألياف الكربونية تحت المؤثرات المركبة

أطروحة
مقدمة الى مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل
وهي جزء من متطلبات نيل شهادة دكتوراه فلسفة
في الهندسة المدنية (أنشاءات)
من قبل

خلف ابراهيم محمد
ماجستير هندسة مدنية

بأشراف

الأستاذ الدكتور بيار جعفر السليفاني