University of Mosul
College of Engineering

PERFORMANCE OF HIGH STRENGTH FIBROUS CONCRETE COLUMNS REINFORCED WITH STEEL, GFRP OR HYBRID BARS

ABDULJALIL SULAIMAN AHMED ALDOSKI

Ph.D. Thesis
Civil Engineering (Structural Engineering)

Supervised
By
Prof. Dr. Saad Ali Al-Taan

2019 A.D. **1440 A.H.**

ABSTRACT

In recent decades, high strength concrete HSC has been widely used in concrete structures, especially in high compressive stress elements and high rise buildings. HSC however, is characterized by lack of ductility which limits its use. The addition of steel fibers to HSC imparts post peak behavior, increases roughness ratio and energy absorbing capability.

Conventional steel bars usually exhibit corrosion in humid environments, river-side, seashore and offshore structures.

GFRP and CFRP bars are chosen as internal reinforcement for concrete structures, particularly when corrosion resistance or electromagnetic transparency is required. Both GFRP and CFRP bars, however, are still not recommended by many codes like as columns.

The present study aims at evaluating the performance of FHSC columns reinforced with either steel, GFRP, or hybrid (steel with GFRP) bars. A series of 60 square reinforced concrete columns of 125×125 mm cross - section, 510 mm effective height and 710mm overall height were casted and tested under concentric and eccentric loads.

The specimens were divided into three series with nearly the same longitudinal reinforcement ratio. Each series contains 20 columns, and divided into five groups tested at eccentricity e = 0, 16, 32, 48, and 64 mm. One column in each group is cast without steel fibers, and the other three with 1.2, 2.4, and 3.6% steel fibers by weight of concrete.

The first Series (S) was reinforced longitudinally with four 10 mm diameter steel bars having reinforcement ratio ρ_g = 0.0195, the second Series (G) was reinforced longitudinally with four 10 mm GFRP bars having reinforcement ratio ρ_g = 0.0197, and the third Series (H) was reinforced longitudinally with one 10 mm steel bars and two 7 mm GFRP

bars on two opposite faces having reinforcement ratio ρ_g = 0.0181. All the columns were reinforced transversely with 6 mm steel ties at a spacing of 64 mm c/c.

The test results showed that for axially loaded columns, the average load carried the reinforcement is 9.1% of the total load for columns reinforced with steel bars, 3.3% for columns reinforced with GFRP bars and 6.5% for columns reinforced with the Hybrid bars.

The test results showed also that the ratio of the load carried by columns reinforced with GFRP bars, or Hybrid bars to that reinforced by steel bars ranged (61 - 95.7) % and (74.1 - 99.9) % respectively. The ratio is increasing with the increasing of the volume fraction of the fibers, and decreasing with the increasing of the eccentricity.

The steel fibers increased the load carrying capacity of the tested columns over those without steel fibers by (1.3 - 11.6) % for columns reinforced with steel bars, (1.5 - 23.1) % for columns reinforced with GFRP bars and (0.9 - 27.9) % for columns reinforced with Hybrid reinforcement. Spalling cracks appeared only in columns without steel fibers.

The average compression stresses created in the reinforcing bars for columns reinforced with GFRP bars and loaded at eccentricity e = 0 or 16 mm is 67% of that for columns reinforced with steel bars. For larger eccentricities (32, 48 and 64 mm), the compression stresses decreased to 22% and the tension stresses to 36% of the corresponding steel stresses.

In general, the measured deflection, reinforcement bars and concrete strains are decreasing with the steel fibers weight at a certain load level.

The CSA gave safe and reliable prediction of the load carrying capacity of all the columns. The ACI gave unsafe prediction of the ultimate loads for the columns reinforced with GFRP bars.

The predicted values of the ultimate load using ACI are (4 – 20) % higher than that obtained by CSA for columns reinforced with steel bars, (6.1- 25.3) % for columns reinforced with GFRP bars, and (8.8-2.5) % for columns reinforced with Hybrid bars. The calculated values of the balanced loads for columns reinforced with steel or Hybrid bars were increasing with the steel fibers weight.

The predicted values of the neutral axes depth using the ACI are slightly higher than that using the CSA for all the columns.

الخلاصـــة

في العقود الأخيرة شاع استعمال الخرسانة عالية المقاومة في الأبنية الخرسانية، خاصة في الأعضاء المعرضة لاجهادات الانضغاط العالية وفي المنشات العالية الارتفاع. الخرسانة عالية المقاومة على أية حال تكون قليلة أو معدومة المطيلية وهذا ما يحدد استعمالها. اضافة الألياف الفولاذية الى الخرسانة عالية المقاومة يضفي عليها سلوك ما بعد الذروة، يزيد قابليتها على استيعاب الانفعالات والمطيلية وامتصاص الطاقة.

قضبان حديد التسليح العادية تتعرض الى الصدأ في البيئات الرطبة مثل شواطئ الأنهار والبحار والمنشات البحرية. استعملت أخيرا قضبان مصنوعة من البوليمرات المعززة بالألياف الزجاجية أو الكاربونية كقضبان تسليح داخلية في المنشات الخرسانية خاصة عند وجود ضرورة لمقاومة الصدأ وشفافية للكهرومغناطيسية. ولكن لا تزال بعض المدونات لا توصي باستعمال هذه القضبان كتسليح انضغاط في الأعضاء الخرسانية.

الدراسة الحالية تهدف الى تقييم أداء الأعمدة الخرسانية الليفية عالية المقاومة المسلحة اما بقضبان الحديد، قضبان البوليمرات المعززة بالألياف الزجاجية، أو قضبان هجينة من النوعين السابقين.

تم صب وفحص 60 نموذجا من الأعمدة مربعة المقطع 125×125 ملم وبارتفاع فعال مقداره 510 ملم وارتفاع كلي مقداره 710ملم تحت تأثير أحمال محورية ولا محورية.

النماذج قسمت الى ثلاث سلاسل مسلحة تقريبا بنفس نسبة التسليح الطولية. كل سلسلة مكونة من 20 نموذج قسمت الى خمس مجاميع فحصت تحت تأثير لامركزية 0، 16، 32، 48، و64 ملم.عمود واحد من كل مجموعة كان بدون ألياف فولاذية والثلاثة الباقية احتوت على 1.2، 2.4 و 3.6% نسبة وزنية من الألياف. السلسة الاولى (S) سلحت بأربعة قضبان فولاذية قطر 10 ملم بنسبة تسليح (ρg = 0.0195)، السلسة الثانية (G) سلحت بأربعة قضبان زجاجية بوليمرية زجاجية قطر 10 ملم بنسبة تسليح (ρg =0.0197)، والسلسلة الثالثة (H) سلحت بقضيب فولاذي قطر 10 ملم وقضيبين زجاجين بوليمرين بقطر 7 ملم في كل وجه من وجهي العمود لتعطي نسبة تسليح (ρg =0.0181). كل النماذج سلحت عرضيا بحلقات قضبان فولاذية قطر 6 ملم على مسافات مركزية مقدارها 64 ملم.

أظهرت نتائج الفحوصات أن نسبة الحمل التي تقاومه الأعمدة المسلحة بالقضبان الزجاجية البوليمرية، أو الأعمدة المسلحة بالقضبان الهجينة الى الحمل التي تقاومه الأعمدة المسلحة بقضبان فولاذية تتراوح ما بين 61 % الى 95.7% و 74.1% الى 99.9% على التوالي. هذه النسبة تزيد بزيادة نسبة مؤشرتسليح الألياف (R.I.) وتقل مع اللامركزية.

الألياف الفولاذية زادت من مقاومة الأعمدة المفحوصة بنسبة(1.3– 11.6) % للأعمدة المسلحة بقضبان فولاذية،(1.5– 23.1) % للأعمدة المسلحة بقضبان زجاجية بوليمرية و(0.9 – 27.9) % للأعمدة المسلحة بقضبان هجينة. حدث انفصال للقشرة الخرسانية فقط في الاعمدة التي لا تحوي ألياف فولاذية.

معدل اجهادات الانضغاط التي تولدت في الأعمدة المسلحة بقضبان زجاجية بوليمرية وحملت بلامركزية مقدارها 0 أو 16 ملم تساوي 67% من تلك التي تولدت في قضبان الأعمدة المسلحة بقضبان فولاذية. وفي الأعمدة التي حملت بلامركزية مقدارها 32، 48 و 64 ملم نقصت اجهادات الانضغاط الى 22% والشد الى 36% من تلك التي تولدت في قضبان الأعمدة المسلحة بقضبان فولاذية.

بصورة عامة كان الأود، والانفعالات في الخرسانة وقضبان التسليح المقاسة تقل مع نسبة وزن الألياف الفولاذية عند حمل معين.

المواصفة الكندية (CSA) أعطت تنبوأ أمينا ويمكن الاعتماد عليه لكل النماذج المفحوصة. بينما توصيات المعهد الأمريكي للخرسانة المسلحة (ACI 318-14) أعطت تنبوأ غير امن للأعمدة المسلحة بقضبان زجاجية بوليمرية.

قيم مقاومة الأحمال القصوى التي تم الحصول عليها باستعمال توصيات مدونة معهد الخرسانة الأمريكي (ACI 318-14) كانت(4 – 20) % أكثر من تلك التي تم الحصول عليها باستعمال المواصفة الكندية (CSA) للأعمدة المسلحة بقضبان فولاذية، (6.1 – 25.3) % للأعمدة المسلحة بقضبان زجاجية بوليمية و(8.8 - 22.5) % للأعمدة المسلحة بقضبان هجينة. قيم الأحمال المتوازنة للأعمدة المسلحة بقضبان فولاذية أو قضبان زجاجية بوليمرية زادت مع وزن الألياف الفولاذية.

عمق محور التعادل المحسوب باستعمال توصيات معهد الخرسانة الأمريكي (ACI 318-14) كانت أكبرقليلا من تلك المحسوبة باستعمال المواصفة الكندية (CSA).

جامعــة الموصـل
كليـــة الهندســة

أداء الأعمدة الخرسانية الليفية عالية المقاومة والمسلحة بقضبان حديدية وقضبان ألياف زجاجية بوليمرية أو قضبان هجينة

عبدالجليل سليمان أحمد الدوسكي

أطروحة دكتوراه فلسفة في
الهندسة المدنية (هندسة الانشاءات)

بإشراف
الأستاذ الدكتور سعد علي الطعان

1440هـ 2019 م