

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：53901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820240

研究課題名(和文) 超高強度・靱性を有するハイブリッド型鋼繊維補強コンクリート充填鋼管柱の開発

研究課題名(英文) Development on Hybrid-Type Steel-Fiber Reinforced Concrete Filled Steel Tubular Columns with High Strength and Ductile

研究代表者

山本 貴正 (YAMAMOTO, TAKAMASA)

豊田工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号：70418987

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート充填鋼管(CFT)柱の充填コンクリートの超高強度化に伴う靱性の低下を改善するため、従来から多くの研究成果が蓄積されている高靱性の繊維補強コンクリートに着目し、CFT柱構造の耐力・靱性を表す指標となるCFT短柱の圧縮特性に及ぼす高張力鋼繊維による補強の効果について、既往の研究成果も踏まえて実験的に考察した。その結果、i)繊維補強CFT短柱の最大耐力到達後の変形状に及ぼす繊維補強効果は認められる。ii)繊維補強をした円形の繊維補強CFT短柱の最大耐力到達後の変形状に及ぼす繊維補強効果は、その角形より小さい、などの知見を得た。

研究成果の概要(英文)：The ductility for concrete filled steel tube (CFT) columns inferior as the strength of filling concrete is higher. In order to restrain this phenomenon, to try the reinforcement by steel fiber for high strength CFT columns while paying attention a research for high ductility of fiber reinforced concrete (FRC) stored. This experimental study investigated the effect of steel fiber reinforcement of compression property for high strength CFT short columns, where compression property for short columns become indexes of strength and ductility in the CFT column structures. As a result, following have been found. i) The axial compressive ductility of high strength square CFT short columns using steel fibered concrete is higher than CFT with concrete without steel fibered. ii) The axial compressive ductility of high strength circular CFT short columns using steel fibered concrete is lower than it's square.

研究分野：建築材料施工

キーワード：高張力鋼繊維 幅厚比 最大圧縮耐力 靱性 拘束効果 コンクリート充填不良

1. 研究開始当初の背景

コンクリート充填鋼管 (Concrete Filled Steel Tube/CFT) 柱構造は、地震の多い我が国ならではの技術が集積されており、優れた建築技術力を象徴している。なお、CFT柱構造は、鋼管とコンクリートの相互作用により、i) 鋼管によるコンクリートの拘束効果およびコンクリートによる鋼管の局部座屈抑制効果で、耐力・変形性能が向上する、ii) 熱容量が高いコンクリートが充填されているため、鋼管単体と比較して耐火性能が向上する、iii) コンクリートの打設は鋼管内のため、型枠不要であり施工性が向上する、などで優れた特性を発揮する。

近年、超高層建築物にコンクリート充填鋼管(CFT)柱構造が多く採用されている。これに伴い、CFT柱に使用する鋼管およびコンクリートの超高強度化が要求されている。一方で、充填コンクリートが超高強度化するほど、CFT特有の高靱性が著しく失われてしまう研究成果が得られている。今後、超高強度CFT柱をより一般的な構造形式として実用化するためには、充填コンクリートの超高強度化に伴い脆性化するCFT柱の靱性を改善する必要がある。

2. 研究の目的

CFT柱の充填コンクリートの超高強度化に伴う靱性の低下を改善するため、従来から多くの研究成果が蓄積されている高靱性を有する繊維補強コンクリート(Fiber Reinforced Concrete/FRC)に着目し、CFT柱構造の耐力・靱性を表す指標となるCFT短柱の圧縮特性に及ぼす高張力鋼繊維による補強の効果について、既往の研究成果も踏まえて実験的に考察する。なお、最初に、繊維補強CFTに充填する超高強度のFRCの圧縮特性を把握することを目的として、超高強度FRCの試し練り実験を実施した。次に、その結果を踏まえ、CFT柱構造の耐力・靱性を表す指標となるCFT短柱の圧縮特性に及ぼす高張力鋼繊維による補強の効果について、既往の研究成果も踏まえて実験的に考察する。

3. 研究の方法

(1) 繊維補強コンクリート

検討項目・計測項目

FRCのi)圧縮強度のばらつき、ii)ヤング係数(1/3割線弾性係数)、iii)強度時圧縮ひずみ度、iv)圧縮軟化特性、に及ぼす繊維および繊維混入率の影響を、普通強度の無補強コンクリート(以下、コンクリート)を基準として、比較・検討した。

実施試験

主に空気量試験(JIS A 1171:2000に準拠)、圧縮試験(JIS A 1108:2010に準拠)および静弾性係数試験(JIS A 1149:2010に準拠)を実施し、空気量、実測繊維混入率、圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係などを計測した。圧縮ひずみ度は、圧縮強度到達前はコンプレッソメータの変位計、圧縮強度到達以降は試験機ヘッドストロ

ークを用いて求めた。なお、平行度を簡単に傾斜計(精度0.1度)で測定した。

実験因子

実験因子として、主に繊維補強の有無、繊維混入率、繊維種を取り上げた。またFRCの圧縮強度のばらつきの基準とするコンクリートの圧縮強度試験も併せて実施した。

使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/cm³)とシリカフェーム混合セメント(密度:3.04g/cm³)、細骨材は天竜川産の川砂(表乾密度:2.64g/cm³,吸水率:0.82%)と多治見産の山砂(表乾密度:2.55g/cm³,吸水率:1.78%)、粗骨材は天竜川産の川砂利(表乾密度:2.65g/cm³,吸水率:0.74%)、混和材は、シリカフェーム(密度:2.22g/cm³)、混和剤は高性能減水剤(主成分:ポリカルボン酸系コポリマー)を使用した。鋼繊維は、立体波形の普通鋼(公称長さ:30mm,公称直径:0.8mm)と数個の繊維が水溶性接着剤で結合されているフック付ストレート(公称長さ:30mm,公称直径:0.38mm,引張強度最低保証値2610N/mm²)である。なお、コンクリート標準供試体用の型枠は内径100mm・内高200mmの鋼製型枠を使用した。

試験体作製

試料の混練には、容量60lの二軸強制練ミキサを使用した。ミキサの軸回転数は4r/minである。

コンクリートの型枠への充填工法は、縦方向打設の落とし込みとし、2層詰め、各層を突き棒で15回突き、その後、プラスチックハンマーで、突き棒によりできた穴がなくなるまで型枠側面を軽く叩いた。なお、FRCCを型枠に充填する作業において、通常のハンドスコップと併用して、ハンドフォークを使用した。養生は、CFT試験体と同一条件にするため、その強度試験日まで実験室内にて封緘養生とした。

混練および型枠打設の手順は、まず繊維補強なし(繊維混入率0%)で行い、その後、計画した繊維を混入した。なお、計画した繊維を混入した後毎に空気量試験を実施した。実測繊維混入率は、先の計画調合で試料を採取した型枠の容積と実測空気量を用いて算出した。ここでは、各材料ともにそれら調合表の値に比例して型枠へ打設されていると仮定している。

(2) 繊維補強コンクリート充填鋼管短柱

検討項目・計測項目

繊維補強CFTのi)最大圧縮耐力、ii)最大圧縮耐力到達直後の変形性状、iii)最大耐力到達後の最小圧縮耐力、に及ぼす繊維混入率の影響を検討した。CFT短柱と鋼管短柱の圧縮試験では、上下端ともに固定とし、圧縮変位を、上下の支圧板間に設置し、相対する2台の変位計の測定値とした。なお、各圧縮試験とともに、3000kN級耐圧試験機を使用して、コンクリートが弾性範囲内で応力度の増加が毎秒0.2-1.0N/mm²の範囲内になるように、変位制御で実施した。

実施試験

繊維補強有無のCFT短柱の圧縮試験を実施した。なお、鋼管およびコンクリートの力学性状を把握するために、鋼管から採取した試験片の引張試験、鋼管短柱の圧縮試験およびコンクリート標準試験体の圧縮試験をそれぞれ実施した。

実験因子

実験因子として、主に繊維補強の有無、コンクリート強度レベル、幅厚比、断面形状を取り上げた。

使用材料

鋼管は、STKR400の100×100×3.2mm(公称幅厚比31)および100×100×2.3mm(公称幅厚比43)ならびにSTK400の114.3×3.5mm(公称径厚比33)をそれぞれ用いた。

コンクリートの材料は、前述の3.(1)と同様である。コンクリート標準試験体用の型枠は内径100mm・内高200mmの鋼製型枠を使用した。鋼管の公称高さは公称断面幅(径)の3倍である。

試験体作製

設計繊維混入率は外割の体積比率である。なお、繊維混入前のミキサ内のコンクリートを型枠と鋼管に打設した後、ミキサ内に繊維を混入した。コンクリートの混練には、容量60lの二軸強制練ミキサを使用した。

コンクリートの型枠および鋼管への充填方法は、それぞれ縦方向打設の落とし込みおよび突き棒による2層詰めで、各層を突き棒で15回突き、その後、プラスチックハンマーで、突き棒によりできた穴がなくなるまで型枠側面を叩いた。なお、FRCを型枠および鋼管に充填する作業において、通常のハンドスコップと併用して、ハンドフォークを使用した。

コンクリート標準供試体の養生は、CFT試験体と同一条件にするため、その強度試験日まで実験室内にて封緘養生とした。

4. 研究成果

(1) 繊維補強コンクリート

フック付スレート鋼FRCの圧縮強度比のばらつきは、立体波形鋼のそれと比較大きい。また、繊維混入率が高いほど、施工性が悪くなるため、試料の型枠への充填性が劣り、圧縮強度比のばらつきが大きくなる。立体波形鋼FRCの実測空気量と実測繊維混入率は、高い負の相関がある。立体波形鋼FRCCの実測空気量と実測繊維混入率は、凸の関係がある。これらの実測繊維混入率が高いほど、実測空気量が低下するのは、繊維混入の影響に加え、コンクリートの混練り時間および流動性が影響していると考えられる。なお、フック付スレートにおいて、実測空気量が増加したのは、フックが空気を巻き込んだためであり、また、低下したのは、混練り時間および流動性の影響がフックのそれより大きいためであると推察される。

FRCの鋼繊維混入による圧縮強度の高低は、繊維混入率と繊維種が影響する空気量が起

因する。

FRCのヤング係数は、繊維補強の効果を直接受けず、モルタルマトリクスの単位容積質量が影響する。

無補強コンクリートの強度時圧縮ひずみ度は、コンクリートに適用される野口式による計算値より、高い傾向がある。これは、本研究では骨材を使用していないため、通常のコンクリートと比較して、幾何学的均質性が高く、応力集中が生じにくいいため、ひび割れ発生が高応力状態まで抑制されることが影響していると考えられる。

FRCの強度時ひずみ度に及ぼす繊維混入率(0%を含む)の影響は、ほとんどない。

実測繊維混入率5%程度の普通鋼FRCの圧縮軟化特性は、圧縮強度18N/mm²のコンクリートのそれと比較し劣り、また、圧縮強度が高いほど、負勾配が著しく厳しくなりやすい。高張力鋼FRCの圧縮軟化特性は、圧縮強度18N/mm²のコンクリートのそれと比較し、低い実測繊維混入率では劣り、一方、高い実測繊維混入率では優れ、高靱性を発揮する。ただし、高実測繊維混入率においても、負勾配が著しく厳しくなることがある。

(2) 繊維補強コンクリート充填鋼管短柱

CFT短柱は、コンクリート充填不良による欠陥で充填コンクリートの圧縮強度が低下しても、欠陥箇所に繊維が集結していれば、その圧縮軟化に繊維補強効果が発揮される可能性がある。

最終破壊形状に及ぼす繊維補強効果および幅厚比の影響は、それぞれほとんど認められなかった。

繊維補強角形および円形CFT短柱の最大圧縮耐力は、それぞれ繊維効果が発揮されず、日本建築学会のCFT構造設計施工指針の式で予測できる。

角形CFT短柱は、幅厚比が大きいおよびコンクリート強度レベルが高いほど、繊維補強かつ拘束効果による圧縮軟化の抑制が小さくなると考えられる。

繊維混入率3.0vol.%の繊維補強角形CFT短柱の耐力低下率(最大圧縮耐力に対する最大圧縮耐力到達後の最小の圧縮耐力)は、繊維補強無し、と同様に、鋼管断面耐力比と正の相関がある。

円形CFT短柱の耐力低下率に及ぼす繊維補強効果は、角形のそれより小さい可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

山本貴正、加藤竜貴、尾関隼人、永田哲平: 超高強度鋼繊維補強セメント系複合材料の圧縮特性について、中部セメントコン

クリート工学, 査読無, vol.28, 2015, pp.24-29

山本貴正, 加藤竜貴, 尾関隼人, 永田哲平: 超高強度鋼繊維補強セメント系複合材料の試し練り実験, 査読無, 豊田工業高等専門学校研究紀要, vol.48, 2015, pp.53-58

山本貴正, 山田和夫, 阿部真也, 永田哲平: 繊維補強コンクリート充填角形鋼管短柱の圧縮特性に関する基礎的研究, 査読無, 日本建築学会東海支部研究報告集, vol.54, 2016, pp.33-36

山本貴正, 川口淳, 山田和夫: コンクリート充填鋼管短柱の圧縮特性に及ぼす繊維補強効果に関する基礎的研究, 査読有, コンクリート工学年次論文集, vol.38, No2, 2016, pp.1171-1176

山本 貴正 (YAMAMOTO, Takamasa)
豊田工業高等専門学校・建築学科・准教授
研究者番号: 70418987

(2)研究分担者
()

研究者番号:

(3)連携研究者
()

研究者番号:

〔学会発表〕(計3件)

山本貴正: 超高強度鋼繊維補強セメント系複合材料の圧縮特性について, 中部セメントコンクリート研究会, 2015.11.13, 愛知県産業労働センター(名古屋市中村区)

山本貴正: 繊維補強コンクリート充填角形鋼管短柱の圧縮特性に関する基礎的研究, 日本建築学会東海支部研究集会, 2016.2.22, 名古屋大学(名古屋市中村区)

山本貴正: コンクリート充填鋼管短柱の圧縮特性に及ぼす繊維補強効果に関する基礎的研究, 第38回コンクリート工学講演会, 2016.7.7, 福岡国際会議場(福岡市博多区)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者