

論文 鋼繊維を多量混入したコンクリート充填鋼管短柱の圧縮特性に関する基礎的研究

山本 貴正*1・川口 淳*2・山田 和夫*3

要旨: コンクリート充填鋼管 (CFT) 柱の充填コンクリートの高強度化に伴う靱性の低下を抑制するため、スラリー充填繊維コンクリート (SIFCON) に着目し、主として、充填コンクリートを高強度の SIFCON とした CFT 短柱の圧縮特性を検討した。その結果、i) 繊維を混入している角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力に及ぼす鋼管による充填コンクリートの拘束効果は、その繊維無混入と同様に認められない、ii) 繊維を混入している円形および角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力到達後の変形性能は、繊維無混入のそれらと比較して優れている、などの知見を得た。

キーワード: スラリー充填繊維コンクリート、繊維形状、最大圧縮耐力、変形性能、拘束効果

1. はじめに

昨今、コンクリート充填鋼管 (CFT) 構造に、高強度コンクリートが採用されている。しかし、充填コンクリートを高強度化すると、靱性が低下する。このことから、筆者らは、コンクリートの靱性向上を期待できる短繊維 (以下、繊維) 補強に注目し、充填コンクリートを繊維補強コンクリート (FRC) とした高強度 CFT 短柱の圧縮特性について検討した¹⁾。実験の結果、靱性に及ぼす鋼繊維補強効果は、僅かであった。そこで、FRC と比較して、繊維混入率を高くすることが可能なスラリー充填繊維コンクリート (SIFCON)²⁾、注¹⁾ に着目した。

本研究では、既報¹⁾ に引き続き主目的である高強度 CFT 柱の靱性向上のため充填コンクリートを高強度 (JSCE コンクリート標準示方書を参考にして圧縮強度が 60N/mm² 超) の SIFCON とした CFT 短柱の圧縮特性を検討した。

2. 実験概要

2.1 検討項目

CFT 短柱に用いる鋼繊維を決定するため、予備実験として SIFCON の圧縮特性に及ぼす鋼繊維の種類の影響について検討した。予備実験の結果をもとに、本実験として充填コンクリートを SIFCON とした円形および角形 CFT 短柱を作製し、この圧縮特性を検討した。

2.2 使用材料

グラウトの水は水道水、セメントはシリカフェーム混合 (密度: 3.04g/cm³, 比表面積: 6690g/cm²)、混和剤は高性能減水剤 (密度: 1.09g/cm³, 主成分: ポリカルボン酸コポリマー) を使用した。調合は、水セメント比 25%、混和剤混入率は内割でセメント質量比 6.0%、計画ゼロ打フロー値 360±36mm である。鋼繊維 (密度: 7.85g/cm³)

は表-1 に示す長さや形状が異なる市販の 4 種で、公称長さ 20, 30 および 40mm の立体波形 (以下、波形もしくは波形繊維)、公称長さ 30mm のフック付き直線形 (以下、直線形もしくは直線形繊維) である。

鋼管は STK400-114.3×3.5mm, STKR400-100×100×3.2mm を用いた。鋼管の高さは既報¹⁾ と同様に、公称断面径 (幅) の 3 倍である。

2.3 試験体作製

鋼製の標準試験体用型枠 (内径 100mm×内高 200mm) および底面に平板を付けた鋼管に、鋼繊維を詰め込みその実積率を測定 (後述 2.4 (1) 参照) した後、グラウトを流し混んで標準試験体および CFT 短柱を作製した。ここでは、プラスチックハンマーで型枠および鋼管の側面を叩きながらグラウトを流し混んでいる。なお、この過程において混入している直線形繊維が沈下したため、CFT 短柱では、沈下箇所に鋼繊維を付加しながらグラウトを流し込んだ。グラウトの混練には、容量 60l の二軸強制練ミキサを使用している。

標準試験体の養生は、CFT 短柱と同条件にするため、実験室内にて封緘とした。なお、養生において温度管理はしていない。標準試験体と CFT 短柱の打設面の平滑を確保するため、その端面を研磨した。

2.4 試験・測定方法

(1) 鋼繊維の実積率試験

実積率は、鋼繊維を標準試験体用型枠および CFT 短柱

表-1 鋼繊維の種類

公称長さ (mm)	20	30	40	30
公称直径 (mm)	0.5	0.8	0.8	0.38
公称アスペクト比	40	38	50	79
形状	立体波形		フック付き直線形	
引張強度	1.0kN/mm ² 以上		2.0kN/mm ² 以上	

*1 国立豊田工業高等専門学校建築学科 准教授 博士 (工学) (正会員)

*2 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授 博士 (工学)

*3 愛知工業大学工学部建築学科 教授 工学博士 (正会員)

に使用する鋼管に、ふりかけるように詰め込み測定した。なお、詰め込み後、上面に鋼繊維の突起が現れないように、鋼繊維を除去もしくは上面をならした。この過程において、突き棒やハンマーによる締固めはしていない。

(2) 圧縮試験

標準試験体の圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係および割線静弾性係数（以下、ヤング係数）を測定するため、それぞれ JIS A 1105:2015 および 1149:2010 に準拠して圧縮試験を材齢 4 週目に実施した。圧縮変位は、圧縮強度到達まではコンプレッソメータで測定、圧縮強度到達後は試験機のクロスヘッドストローク値とした。

CFT 短柱の圧縮試験は、既報¹⁾と同様に、試験体の上下端の載荷板を固定とし、圧縮変位を、上下の支圧板間に設置した相対する 2 台の変位計で測定した。

圧縮载荷には、3,000kN 級耐圧試験機を使用し、JIS A 1105:2015 で定められているコンクリートの弾性範囲内における圧縮応力度増分 $0.6 \pm 0.4 \text{ N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{min})$ に収まるように、標準試験体は $0.3 \text{ mm}/\text{min}$ 、鋼管および CFT 短柱は $0.5 \text{ mm}/\text{min}$ の変位制御とした。

圧縮試験の同条件における標準数は表-2 に示すように標準試験体は 3、CFT 短柱と鋼管短柱は 1 である。なお、予備実験の長さ 30mm の波形繊維および本実験の直線形繊維を混入している標準試験体のそれぞれ 1 体は、人的過失で圧縮変位を測定できていない。

3. 実験結果・考察

3.1 鋼繊維の実積率

図-1 に、標準試験体用型枠および鋼管で測定した鋼繊維の実積率と鋼繊維の種類と鋼管の関係を示す。同図 (b) の縦軸は、鋼管で測定した鋼繊維の実積率を標準試験体用型枠で測定した鋼繊維の実積率の平均値で除してある。

同図 (a) より、標準試験体用型枠で測定した波形繊維の実積率の平均値は、繊維が長いほど小さい、また直線形繊維と比較して大きいことがわかる。前者は、既往研究の骨材の実積率と同様に、壁効果であると推察される³⁾、注²⁾。後者は、既往研究の角柱型枠で測定した鋼繊維の実積率の結果⁴⁾と同じであるため、これにより波形繊維の充填分散性は、直線形繊維より高いと考えられる。なお、各鋼繊維の実積率の平均値と標準変動係数は無関係である。

同図 (b) より、各鋼管で測定した実積率は、標準試験体用型枠のその平均値と比較して、大きいことがわかる。なお、円形と角形鋼管の実積率の差異は、認められない。

3.2 標準試験体

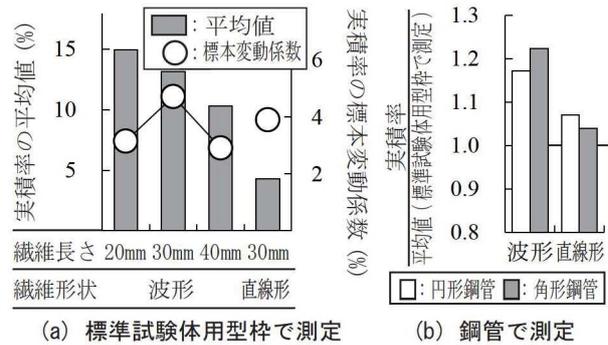
(1) 圧縮強度

表-3 に、標準試験体の圧縮強度一覧を示す。表中の繊維混入率 (V_f) は、次式で算出している。

表-2 圧縮試験の標準数

繊維形状	繊維長さ	予備実験	本実験	
		標準試験体	標準試験体	CFT短柱 円形 角形
波形	20mm	3	-	-
	30mm	3*	3	1 1
	40mm	3	-	-
直線形	30mm	3	3*	1 1
繊維無混入		3	3	1 1

他に、円形および角形鋼管短柱の圧縮試験を各1体実施
*内1体は圧縮強度と繊維混入率のみ測定[前述2.4(2)参照]



(a) 標準試験体用型枠で測定 (b) 鋼管で測定
図-1 鋼繊維の実積率

$$V_f = M_f / (\rho_s \cdot V_c) \quad (1)$$

ここに、 M_f : 標準試験体用型枠および鋼管に詰め込まれている鋼繊維の質量、 ρ_s : 鋼繊維の密度、 V_c : 研磨後のコンクリート部の見掛け体積

また図-2 に、標準試験体の圧縮強度と鋼繊維の種類と鋼管の関係が示してある。棒グラフの縦軸は、繊維を混入していない標準試験体の圧縮強度の平均値で除してある。なお圧縮強度は、圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係のはじめの極大値としている。同図表より、次の知見が得られる。

長さ 20mm の波形繊維を混入している標準試験体の圧縮強度の平均値は、繊維無混入のそれと比較して高い。これは、普通強度の SIFCON⁴⁾ および FRC⁵⁾ に関する既往研究を参考にすると、他と比較して繊維混入率が高かつ繊維が短いため、鋼繊維による拘束効果が発揮されたと考えられる。

長さ 30mm および 40mm の波形繊維を混入している標準試験体の圧縮強度の平均値は、繊維無混入のそれと比較して低い。これは、既報研究の普通および高強度の SIFCON の圧縮強度⁶⁾と同じ傾向であり、これによると、繊維が長いため、繊維配向が標準試験体の荷重載荷方向に偏ることが影響していると推察される。

直線形繊維を混入している標準試験体の圧縮強度の平均値は、同じ長さの波形繊維と比較して高い。これは、直線形の繊維混入率が波形繊維と比較して低いため、繊維配向が荷重載荷方向に偏りにくいことが影響していると考えられる。

標準変動係数は、予備実験の波形繊維の長さ 40mm を混入している標準試験体のみが、レディミクストコンク

表-3 標準試験体の圧縮強度一覧

繊維形状	繊維長さ	圧縮強度		繊維混入率		見掛け密度 平均値 (g/cm ³)	
		平均値 (N/mm ²)	vCOV (%)	平均値 (vol. %)	vCOV (%)		
予備実験	波形	20mm	152	8.41	15.1	4.75	3.03
	直線形	30mm	93.2	2.72	13.2	2.31	2.92
		40mm	93.7	10.9	10.3	2.51	2.76
本実験	直線形	30mm	124	3.69	4.41	4.50	2.43
		繊維無混入	122	1.29	-	-	2.20
	波形	30mm	69.6	6.10	13.8	7.66	2.85
本実験	直線形	30mm	78.8	4.38	4.34	4.06	2.31
		繊維無混入	87.6	1.89	-	-	2.12

vCOV: 標本変動係数

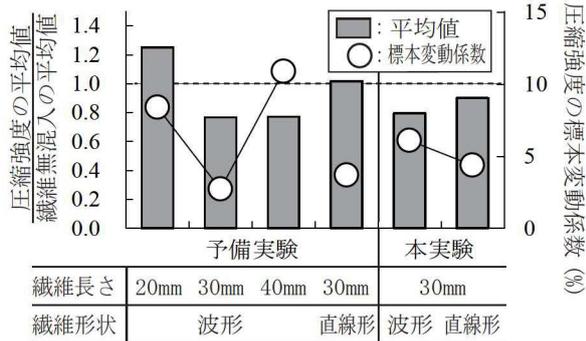


図-2 標準試験体の圧縮強度

リートにおいて良好な管理がなされているかの目安となる上限値10%を超えている。これは、繊維長さやラウトの充填が原因であると推察されるが、このことについては、標本数が少ないため、今後、改めて再検討しなければならない。

(2) ヤング係数

図-3に、標準試験体のヤング係数と各要因の関係を示す。図中の点線で示す枠のなかは本実験の試験体を、他は予備実験の試験体である。

同図より、波形繊維を混入している標準試験体の各ヤング係数は、繊維無混入のその平均値と比較して高いことが認められる。このことから、ヤング係数に対して、繊維混入による圧縮強度の低下〔前述3.2(1)参照〕は、影響しないと考えられる。一方、これらと比較して繊維混入率が低い直線形繊維を混入している標準試験体の各ヤング係数は、繊維無混入のその平均値と同程度であることがわかる。

(3) 圧縮試験後の破壊形状

写真-1に圧縮試験後の繊維を混入している標準試験体の破壊形状の例を示す。同写真(a)に示す標準試験体は、同写真(b)(c)と異なり、斜めひび割れに伴う繊維の露出幅が狭く破壊が局所化していることがわかる。この破壊形状の応力度-ひずみ度関係〔後掲図-4(a)参照〕は、他と比較して圧縮強度時の圧縮ひずみ度(以下、強度時ひずみ度)が小さく、かつ圧縮強度到達後の変形性能が劣る。一方、同写真(b)(c)の破壊形状の応力度-ひずみ度関係〔後掲図-4(a)(c)参照〕は、他と比較して、

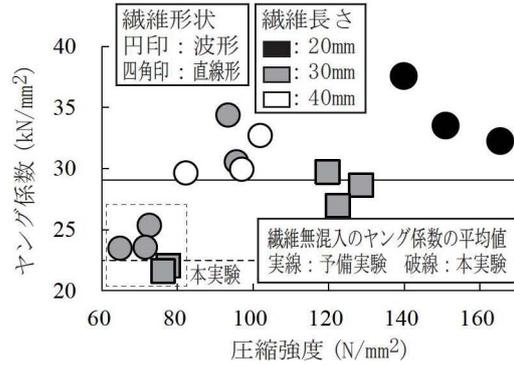


図-3 標準試験体のヤング係数

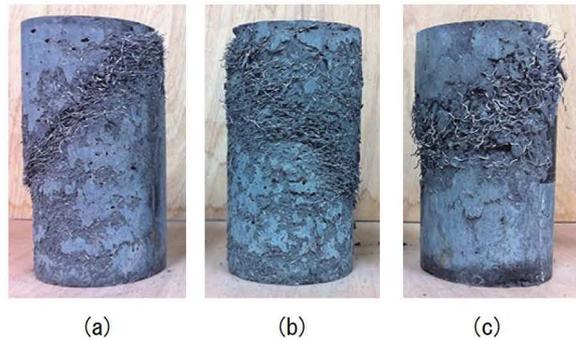


写真	繊維長さ	圧縮強度時ひずみ度	圧縮強度到達直後の変形性能
(a)	20mm	1.13%	劣
(b)	20mm	2.85%	優
(c)	40mm	0.569%	優

写真-1 圧縮試験後の破壊形状の例(標準試験体)

強度時ひずみ度が大きい、または圧縮強度到達直後の変形性能が優れている。

(4) 圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係

図-4および図-5に、予備実験および本実験の標準試験体の圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係を示す。図中の破線は、繊維を混入していない標準試験体の圧縮強度の平均値である。繊維混入率は平均値を表している。なお圧縮強度は、圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係のはじめの極大値としている。

図-4より、i) 長さ20mmの波形繊維を混入している標準試験体〔図(a)〕は、他の繊維と異なり、強度時ひずみ度および圧縮強度到達後の変形性能の変動が大きい、ii) 長さ30mmと40mmの波形繊維を混入している標準試験体〔図(b)(c)〕の圧縮強度到達後の変形性能は、その長さ20mm〔図(a)〕と比較して優れている、iii) 直線形繊維を混入している標準試験体〔図(d)〕は、同じ長さの波形繊維〔図(b)〕と比較して、強度時ひずみ度は高いが、圧縮強度到達後の変形性能が劣る、ことがわかる。

上記の傾向について、FRCの曲げ特性に関する既往研究⁷⁾を参考にすると、上述i)は、過度な繊維混入率が原因で発生しやすい不規則な繊維の配列の箇所、ひび割れ幅の進展を抑制できなくなり、破壊が局所化するた

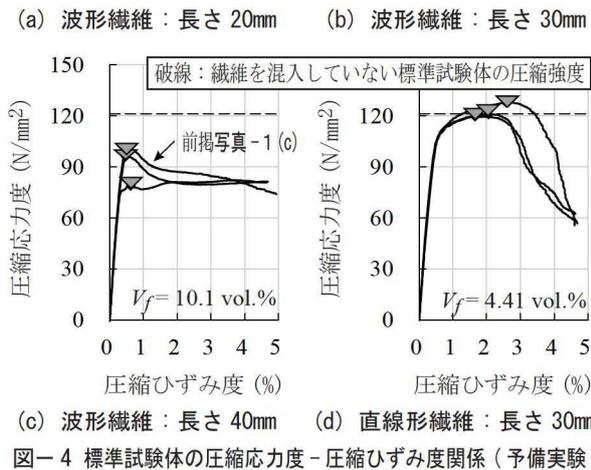
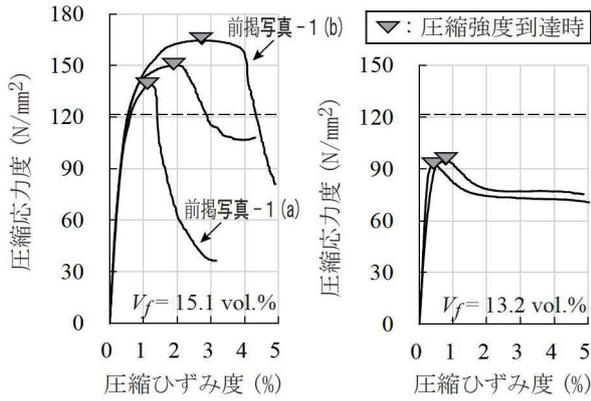


図-4 標準試験体の圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係(予備実験)

め, ii) は, 繊維の架橋効果の程度を支配する繊維の配列が規則正しく, 各要素でひび割れ幅の拡大を抑制できているので, 破壊が局所化しないため, iii) は, 繊維混入率が低いので, ひび割れに架橋する繊維数が少なく, 繊維が急激に引き抜け, ひび割れ幅の拡大を抑制できなくなり, 破壊が局所化したため, であると考えらえる。

図-5 より, 本実験の繊維を混入している標準試験体の強度時ひずみ度および圧縮強度到達後の変形性能は, 予備実験 [図-4 (b) (d)] と比較し, その波形繊維 [図 (a)] は, 同等であること, 直線形繊維 [図 (b)] は小さく優れることが認められる。後者については, 本実験は予備実験と比較して, 繊維を混入していない標準試験体の圧縮強度が低いので, 繊維架橋効果が圧縮強度到達直後に発揮され, その後も繊維が急激に引き抜けることなく, 破壊が分散化したためと考えられる。

3.3 CFT 短柱

(1) 最大圧縮耐力

図-6 に角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力の実測値と次に示す AIJ-CFT 構造設計施工指針 (以下, AIJ-CFT 指針)⁸⁾ のその評価式による計算値 (N_u) の比較を示す^{注 3)}。

$$N_u = A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B \cdot \psi \quad (2)$$

$$\mu = 1.05, \sigma = 0.072$$

ここに, A_s, A_c : 鋼管およびコンクリートの原断面積,

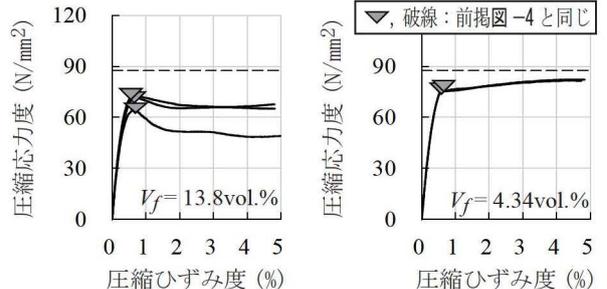


図-5 標準試験体の圧縮応力度-圧縮ひずみ度関係(本実験)

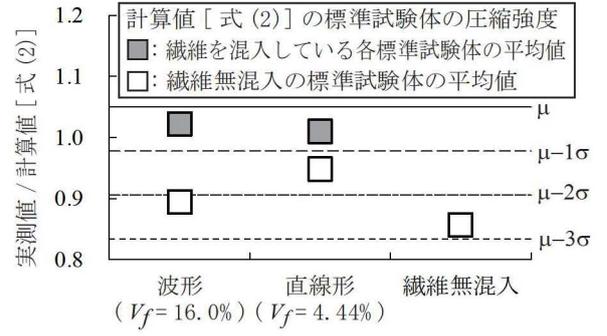


図-6 角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力と計算値

σ_y : 鋼管の降伏応力度, σ_B : 標準試験体の圧縮強度, ψ : コンクリートの寸法効果を考慮した補正係数 (ここでは, 鋼管の公称断面幅と標準試験体の公称直径に差異がないため 1.0 とする), μ, σ : AIJ-CFT 指針に示されている計算値に対する実測値の平均値および標準偏差

繊維を混入している円形 CFT 短柱の最大圧縮耐力の実測値 (後掲図-7 参照) は, 鋼管のひずみ硬化の影響があると考えられる, もしくは明確に認められないため, ここでは計算値と比較をしない。なお最大圧縮耐力は, 圧縮力-圧縮ひずみ度関係のはじめの極大値としている。

同図より, 繊維を混入している標準試験体の圧縮強度の平均値を用いた計算値は, その繊維無混入と比較して実測値に近く, その計算値に対する実測値は, AIJ-CFT 指針の統計量 μ から $\mu-1\sigma$ の範囲内に存在していることがわかる。これは既報¹⁾ の充填コンクリートを FRC としている角形 CFT 短柱と同じ結果である。このことから, 繊維を混入している角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力に及ぼす鋼管による充填コンクリートの拘束効果はないと考えられる。なお, 繊維無混入の角形 CFT 短柱の計算値に対する実測値が, AIJ-CFT 指針の統計量 $\mu-2\sigma$ から $\mu-3\sigma$ の範囲内に存在していることが認められる。これは, コンクリート固有の変動⁹⁾ および断面の形状効果¹⁰⁾ に起因していると推察される。

(2) 圧縮試験後の最終破壊形状

写真-2 に, CFT 短柱の圧縮試験後の最終破壊形状を示す。なお, 各繊維を混入している CFT 短柱の破壊形状は,

それぞれ円形断面および角形断面ともに差異が認められないため、ここでは、その一例を掲載している。

繊維無混入の各 CFT 短柱は、同写真 (a) (c) に示すように、局所的に鋼管の局部座屈が発生している。一方、繊維を混入している各 CFT 短柱は、同写真 (b) (d) に示すように鋼管の局部座屈が柱高さ方向に分散している。後者については、繊維の架橋効果で破壊が局所化しない充填コンクリートによる鋼管の局部座屈抑制効果が起因していると考えられる。

(3) 圧縮力 - 圧縮ひずみ度関係

図-7 に、繊維を混入している円形および角形 CFT 短柱の圧縮力 - 圧縮ひずみ度関係を示す。図中には、繊維無混入の CFT 短柱、鋼管短柱、Ramberg-Osgood モデルおよび累加曲線が併せて示してある。Ramberg-Osgood モデルの圧縮力および圧縮ひずみ度は、それぞれ次式の応力度 (σ) と鋼管の原断面積の積およびひずみ度 (ϵ) である。

$$\epsilon = \sigma / E_s + 0.2 \times 10^{-2} (\sigma / \sigma_y)^m \quad (3)$$

ここに、 E_s : 鋼鉄のヤング係数 (=206kN/mm²)、 m : 材料定数 (円形鋼管 11.5, 角形鋼管 17.9)

式 (3) の材料定数は、鋼管短柱の最大圧縮応力度到達までの圧縮応力度 - 圧縮ひずみ度関係を、最小二乗法で近似して算出した。累加曲線は、対象としている CFT 短柱と同じ種類の繊維を混入している標準試験体のうち、最も圧縮強度到達後の変形性能が優れている圧縮応力度 - 圧縮ひずみ度関係 (前掲図-5 参照) と Ramberg-

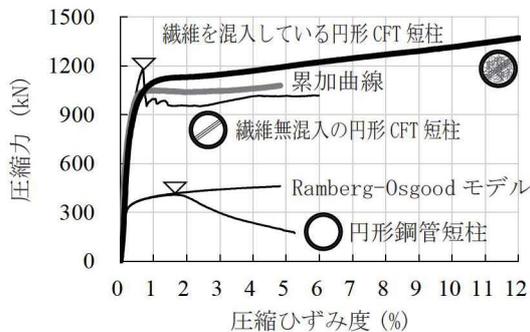
Osgood モデルの応力度 - ひずみ度関係を圧縮応力度 - 圧縮ひずみ度として、それぞれの同一圧縮ひずみ度時の圧縮応力度と CFT 短柱のコンクリートおよび鋼管の原断面積との積の和である。なお最大圧縮耐力は、圧縮力 - 圧縮ひずみ度関係のはじめの極大値としている。同図より、次の知見が得られる。

波形繊維を混入している円形 CFT 短柱 [同図 (a)] の最大圧縮耐力は、その繊維無混入および鋼管短柱と異なり、明確には認められない。直線形繊維を混入している円形 CFT 短柱 [同図 (b)] の最大圧縮耐力時の圧縮ひずみ度および到達後の変形性能は、その繊維無混入および鋼管短柱と比較して高く優れている。繊維を混入してい

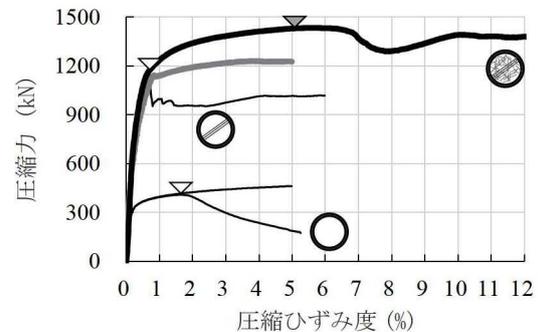


(a)	(b)	(c)	(d)
繊維無混入 円形 CFT 短柱	波形繊維 円形 CFT 短柱	繊維無混入 角形 CFT 短柱	直線形繊維 角形 CFT 短柱

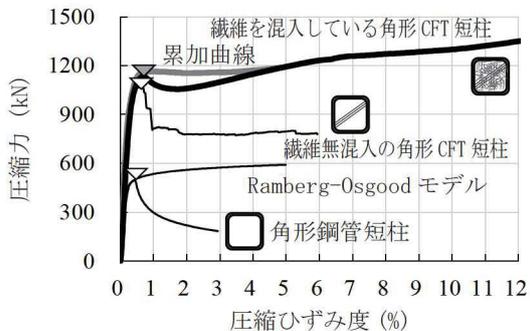
写真-2 圧縮試験後の破壊形状の例 (CFT 短柱)



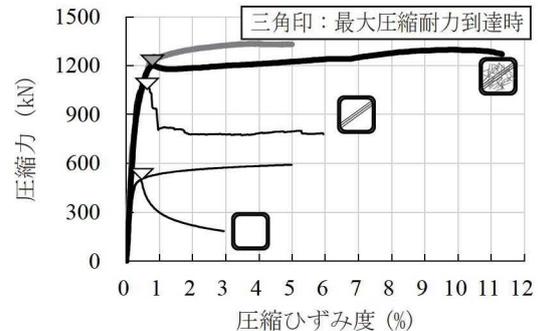
(a) 円形 CFT 短柱・波形繊維 (繊維混入率 15.4%)



(b) 円形 CFT 短柱・直線形繊維 (繊維混入率 4.58%)



(c) 角形 CFT 短柱・波形繊維 (繊維混入率 16.0%)



(d) 角形 CFT 短柱・直線形繊維 (繊維混入率 4.42%)

図-7 CFT 短柱の圧縮力 - 圧縮ひずみ度関係

る各角形 CFT 短柱 [同図 (c) (d)] の最大圧縮耐力到達後の変形性能は、その繊維無混入および鋼管短柱と比較して優れている。これらは、標準試験体 [前述 3.2(4) 参照] と同様に繊維の架橋効果であると考えられる。

繊維を混入している各 CFT 短柱のひずみ硬化もしくは軟化域の圧縮力は、累加曲線と比較して円形断面 [同図 (a) (b)] では高いが、角形断面 [同図 (c) (d)] では低い。これらは、充填コンクリートによる局部座屈抑制効果および鋼管による拘束効果が、円形断面は大きく、角形断面は小さいためであると考えられる。

直線形繊維を混入している円形 CFT 短柱 [同図 (b)] は、その波形繊維 [同図 (a)] と異なり最大圧縮耐力が認められる。また同じ繊維を混入している角形 CFT 短柱 [同図 (d)] と比較して最大圧縮耐力到達後の変形性能が劣る。前者は、標準試験体と同様に [前述 3.2(4) 参照]、直線形の繊維混入率が波形繊維と比較して低いため、ひび割れに架橋する繊維数が少なく、繊維が急激に引き抜け、ひび割れ幅の拡大を抑制できなくなり、破壊が局所化したため、後者は、鋼管による拘束効果で、充填コンクリートの圧縮強度が、角形断面のそれより高くなり、繊維の架橋効果が小さくなるため、であると推察される。

4. おわりに

主として、充填コンクリートを高強度の SIFCON とした CFT 短柱の圧縮特性について、実験的に検討した。これらより得られた主な知見を次に記す。

- 1) 繊維を混入している角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力に及ぼす鋼管による充填コンクリートの拘束効果は、繊維無混入のそれと同様に認められない。
- 2) 繊維を混入している円形および角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力到達後の変形性能は、繊維無混入のそれらと比較して優れる。これらは、標準試験体と同様に繊維の架橋効果によると考えられる。
- 3) 繊維を混入している各 CFT 短柱のひずみ硬化もしくは軟化域の圧縮力は、その累加曲線と比較して円形断面は高いが、角形断面は低い。これらは、充填コンクリートによる局部座屈抑制効果および鋼管による拘束効果が、円形断面は大きく、角形断面は小さいためであると考えられる。

上述に対して、鋼管の径(幅)厚比の差異によるひずみ硬化、局部座屈による耐力劣化などが影響すると考えられるため、今後は、これらに関する検討が必要である。

謝辞

実験で使用した混和剤は竹本油脂株式会社に提供していただいた。また実験遂行にあたり、杉浦九太君をはじめとする平成 28 年度国立豊田工業高等専門学校

建築学科山本研究室所属学生のご助力を得た。

本研究の一部は、科学研究費補助金(若手 B, 研究課題番号 26820240)の助成による。

参考文献

- 1) 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1171-1176, 2016
- 2) David R. Lankard: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON), Concrete International, Vol.6, No.12, pp.44-47, 1984.12
- 3) 竹内輝典, 寺西浩司: 骨材粒度が実積率およびフレッシュ性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1131-1136, 2004
- 4) 河野克哉, 石田征男, 高橋英孝, 田中敏嗣: 鋼繊維を多量混入したセメント系材料の開発と力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.227-232, 2011
- 5) 堀口至, 佐伯昇, 市坪誠, 竹村和夫: ハイブリッド繊維補強コンクリートのコンシステンシーおよび力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.371-376, 2006
- 6) 新村亮, 平井友紀, 青木茂, 原田暁: 繊維高含有 SIFCON の基礎性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.19, No.1, pp.1207-1212, 1997
- 7) 松原功明, 大野俊夫, 坂井吾郎, 山田真人: 超高強度繊維補強コンクリートの諸特性に及ぼす鋼繊維の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1253-1258, 2006
- 8) 日本建築学会: コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 第2版, 2008. 10
- 9) 小阪義夫, 谷川恭雄, 山田和夫: コンクリート強度に関する確率破壊モデルとその特徴, 日本建築学会構造系論文集, 第 247 号, pp.18-29, 1985. 1
- 10) Gonnerman, R. F: Effect of Size and Shape of Test Specimen of Compressive Strength of Concrete, Proc. ASTM, Vol.25, No.2, pp.237-250, 1925.10

注

- 1) SIFCON は、型枠内に繊維を詰め込んだ後、グラウトを注入して成形する。
- 2) 実積率試験用容器の断面寸法に対する骨材粒径が大きいほど、容器内面近傍で骨材が充填されにくい壁効果で、骨材の実積率が小さくなる。
- 3) 角形 CFT 短柱の最大圧縮耐力は、鋼管による拘束効果がないため、断面耐力で評価できるとされている。