

鋼材強度比による鉄筋コンクリート充填鋼管の力学的特性について

鈴木拓也*・長谷川 明**・佐藤光徳***
塩井幸武****

Mechanical Characteristics of Reinforced Concrete Filled Steel Tube with Different Steel Ratio

Takuya SUZUKI*, Akira HASEGAWA**, Mitsunori SATO*** and Yukitake SHIOI****

Abstract

The author study the improvement of performance obtained by a reinforced concrete-filled steel tube (RCFT). The RCFT produces the combination and bonding of axial steel bars and concrete, which produces excellent compressive strength and deformation performance by controlling shear failure of concrete. In the case of application to large-scale structure, the value of steel ratio to concrete becomes small and the controlling performance should be changed.

Therefore, In order to investigate the change of the structural characteristics of RCFT by steel ratio, the compression tests were carried out.

This paper reports the results of compression tests for specimen with different steel ratio.

Key words: RCFT structure, CFT structure, steel ratio, shear failure

1. はじめに

近年、世界各地で大地震による被害が多発している。日本でも、阪神淡路大震災や、三陸はるか沖地震などにより多くの構造物が被害を受けた。被害状況を見ると、RC構造物、コンクリート構造物のせん断破壊や鋼構造物の局部座屈によるものがほとんどであった。阪神淡路大震災の被害状況¹⁾を写真1に示す。このような被害を無く

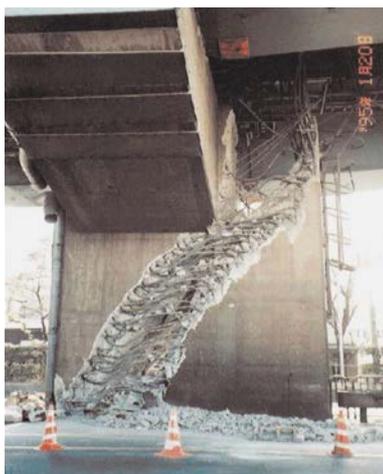


写真1 阪神淡路大震災による被害写真¹⁾

すため、耐震性、耐荷性及び、経済性などの観点から注目されているのが、コンクリート充填鋼管(CFT構造)である。筆者らはCFT構造とCFT構造に鉄筋を配置した鉄筋コンクリート充填鋼管(RCFT)の力学的特性を明らかにするため、実験的研究を行ってきた。その結果、RCFT構造は、塑性域においてCFT構造よりも優れた変形特性、および靱性を持つ構造という事が明らかとなった。

しかし、実構造物にコンクリート充填鋼管を用いる場合、断面形状や寸法効果、鋼材強度比(鋼材・コンクリートの強度負担比率)などの影響を明らかにする必要がある。特に大規模な構造物に使用した場合、鋼材強度比は必然的に低くなり、コンクリートの脆性破壊が懸念される。

そこで、比較的低い鋼材強度比($\gamma=0.3$)の試験体を用い、RCFT圧縮せん断試験を行った。併せて、鋼材強度比の高いケース $\gamma=0.59\sim 0.74$ の結果と比較し、鋼材強度比による影響を明らかとした。その結果を報告する。

2. 圧縮試験概要

2.1 試験体種類

圧縮試験に用いる試験体は、外形150mm、高さ450mmの円柱試験体を用いた。試験体一覧表と鉄筋配置図を図1に示す。

RCFT試験体は、鉄筋配置を外側($\phi 100$)、内側($\phi 60$)に配置したケース、横拘束筋をスパイラル鉄筋(SP)、帯鉄筋を用いたケースをそれぞれ製作した。さらに、同じ

平成19年1月5日受理

* 大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程2年

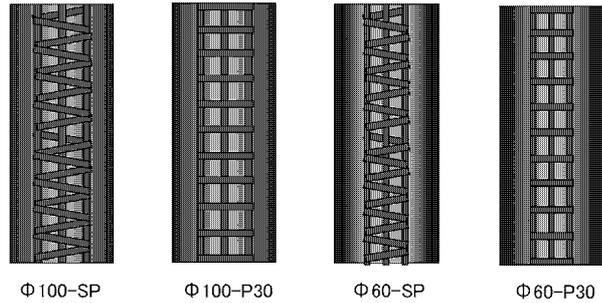
** 大学院土木工学専攻

*** 大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程1年

**** 日本鋼構造協会・八戸工業大学名誉教授

鋼材強度比 $\gamma = 0.32$

試験体	主筋間隔	横拘束筋
CFT		
$\Phi 100$ -SP		スパイラル-pitch30
$\Phi 100$ -P30		帯-pitch30
$\Phi 60$ -SP		スパイラル-pitch30
$\Phi 60$ -P30		帯-pitch30



鋼材強度比 $\gamma = 0.59, 0.67, 0.74$

試験体	主筋間隔	横拘束筋
CFT		
$\Phi 100$		帯-pitch60
$\Phi 60$		帯-pitch60

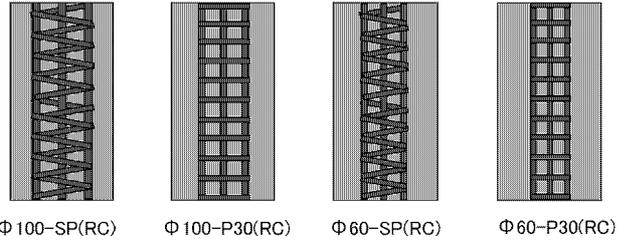


図1 試験体一覧表と鉄筋配置図

表1 各鋼材強度比の材料特性

項目	$\gamma = 0.32$	$\gamma = 0.59$	$\gamma = 0.67$	$\gamma = 0.74$	備考
鋼管径 (mm)	150	150	150	150	SS400
鋼管厚 (mm)	2.3	3.2	4.5	6	
鋼管降伏強度 (Mpa)	327.3	299	296	285	
コンクリート強度 (Mpa)	44.25	19.2	19.2	19.2	
主鉄筋	6-D6	6-D6	6-D6	6-D6	SD295
横拘束筋	30pitch-D3	60pitch-D3			SS400
鉄筋強度比 (%)	0.05	0.06	0.05	0.04	Ps/Pu
鋼管強度比 (%)	0.31	0.39	0.32	0.27	Ps/Pu



写真2 荷重試験機

鉄筋配置の RC 試験体も製作し、比較検討を行った。

2.2 鋼材強度比、及び材料特性

各鋼材強度比における、コンクリート強度、及び鋼管、

鉄筋の材料特性を表1に示す。本論文で指標として用いている、鋼材強度比 γ は次式で表される。

$$\gamma = \frac{P_s}{P_s + P_c} \dots (1)$$

ここに、 P_s : 鋼材強度 P_c : コンクリート強度である。各団体²⁾³⁾とも $\gamma = 0.2 \sim 0.8$ と規定している。鋼材強度比の下限が0.2としている理由としては、前節でも述べた、コンクリートに脆性的な破壊を生じさせないためと考える。

2.3 試験状況と測定項目

試験は写真2に示した許容荷重3,000 kNの荷重試験機を用いて行った。試験体設置状況を写真3に示す。測定項目は、軸方向の変位を鋼管円周方向に4点、ひずみゲージは図2に示したように配置した。試験は、変位が40 mmに達した時、または試験上危険と判断した場合には試験を終了した。

3. 圧縮試験結果

3.1 荷重方法の検討

本試験では、同じ鉄筋配置の試験体を3体製作し、2体

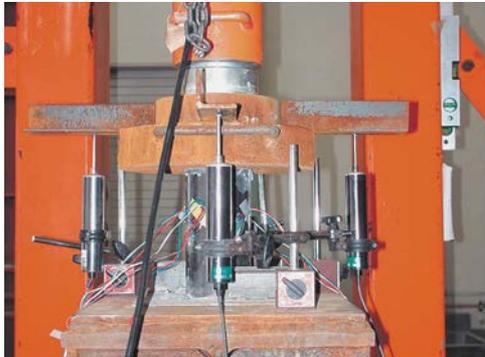


写真3 試験体設置状況

は弾性範囲内での繰り返し荷重, 1体は単調荷重で試験を行っている。そこで, 荷重方法による影響を見るために, 荷重ひずみ曲線で比較した。図3にCFT試験体, 図4にRCFT試験体の荷重方法による荷重ひずみ曲線を示す。

図から, 塑性ひずみが増大していく傾向があるものの繰り返し荷重の影響は少ないものと考えられる。以上のことから, 実験のデータ整理においては3体の平均で評価する。

3.2 RCFT最大耐力, およびCFTとの耐力比

RCFT試験体の最大耐力, CFT試験体との耐力比を表2に示す。表から, 鋼材強度比が低いケース $\gamma=0.32$ 試験体において, CFTとRCFT試験体の最大耐力の差は0.99~1.02で差はない。一方, 鋼材強度比が高いケース $\gamma=0.59, 0.64, 0.74$ を見ると, 1.07~1.10と約10%上昇し

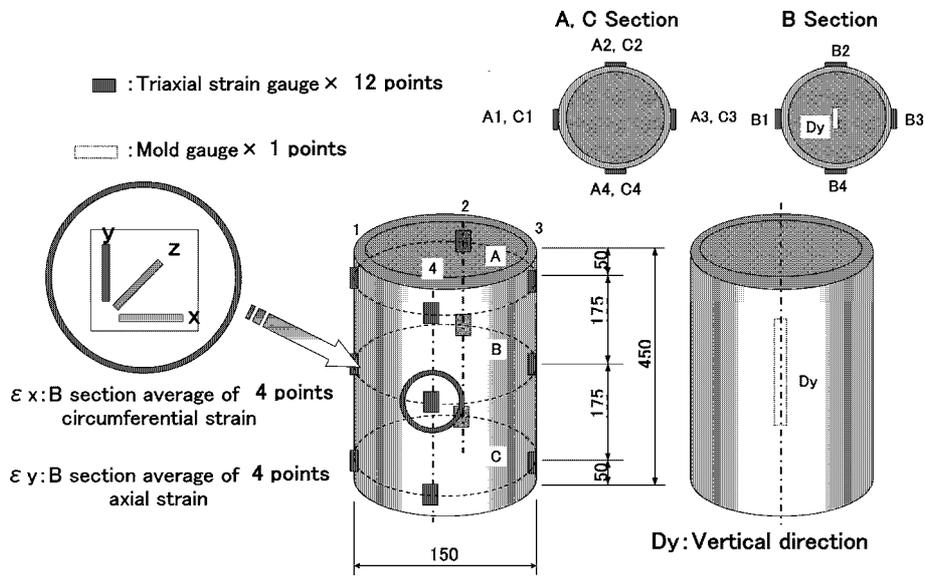


図2 ひずみゲージ位置

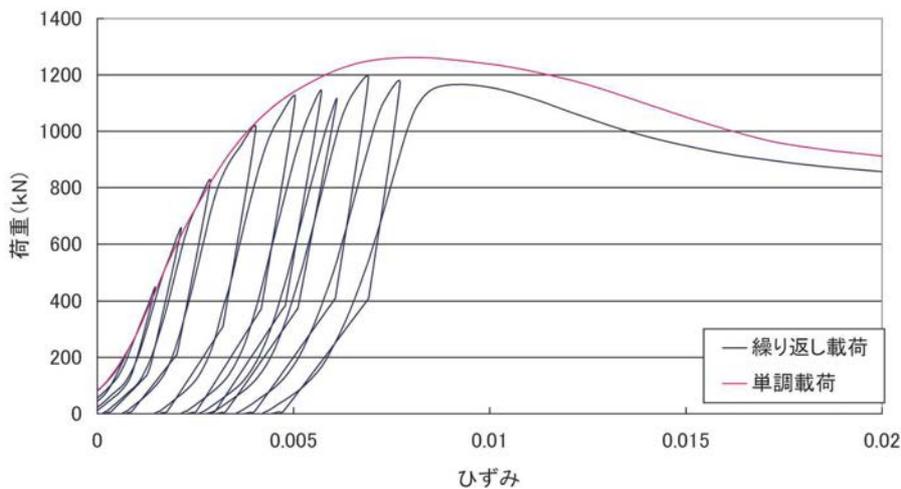


図3 荷重方法の比較 (CFT 供試体)

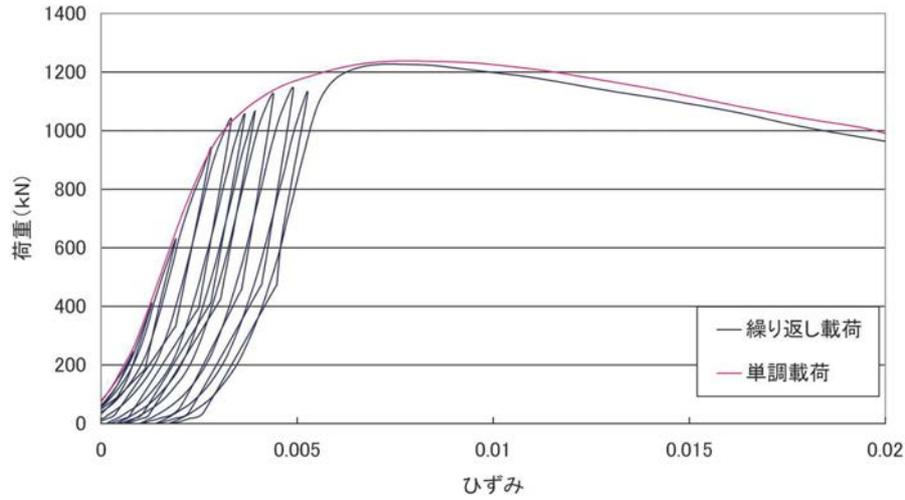


図4 載荷方法の比較 (RCFT 供試体)

表2 最大耐力とひずみ

鋼材強度比 γ	供試体	最大荷重(kN)	CFTとの耐力比	最大耐力時のひずみ	CFTとの比較
0.32	CFT	1235	-	0.00612	-
	Φ 100-SP	1260	1.02	0.00794	1.30
	Φ 100-P30	1236	1.00	0.00894	1.46
	Φ 60-SP	1224	0.99	0.00723	1.18
	Φ 60-P30	1260	1.02	0.00666	1.09
0.59	CFT	975	-	0.00721	-
	Φ 100-P60	1052	1.08	0.02520	3.50
	Φ 60-P60	1041	1.07	0.03250	4.51
0.64	CFT	1348	-	0.04781	-
	Φ 100-P60	1374	1.02	0.03086	0.65
	Φ 60-P60	1369	1.00	0.03046	0.64
0.74	CFT	1375	-	0.05323	-
	Φ 100-P60	1509	1.10	0.05995	1.13
	Φ 60-P60	1473	1.07	0.05261	0.99

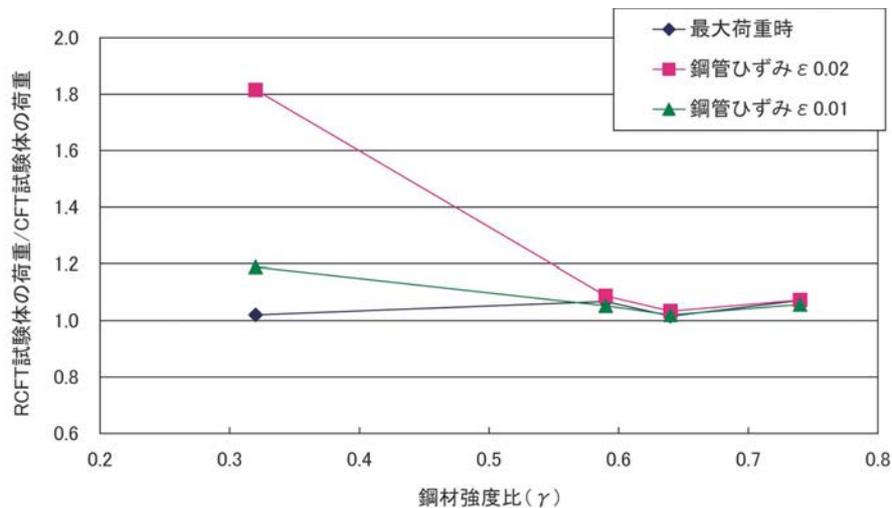


図5 各鋼材強度比の CFT 試験体との耐力比

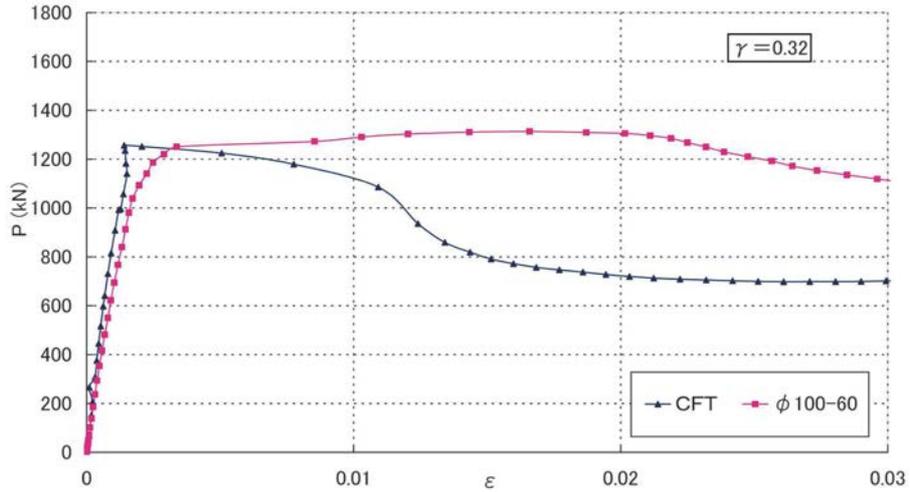


図6 荷重-ひずみ曲線 ($\gamma=0.32$)

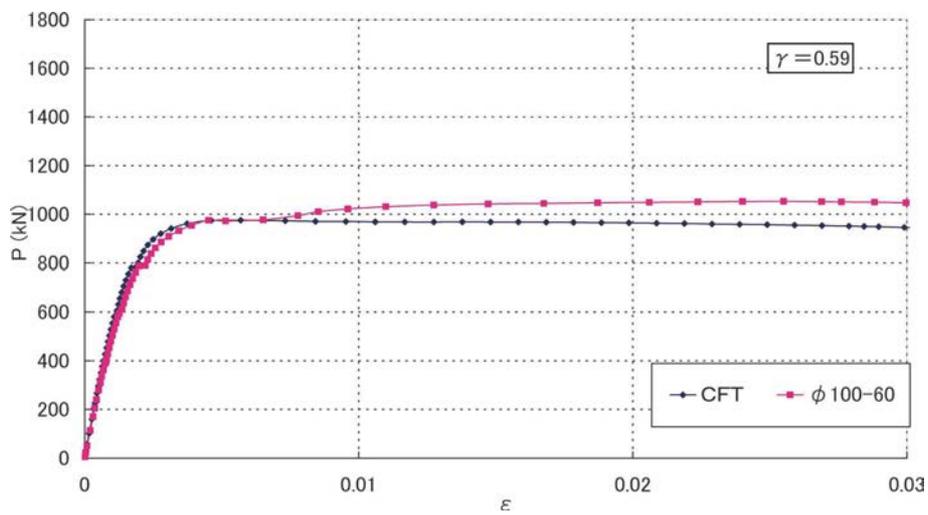


図7 荷重-ひずみ曲線 ($\gamma=0.59$)

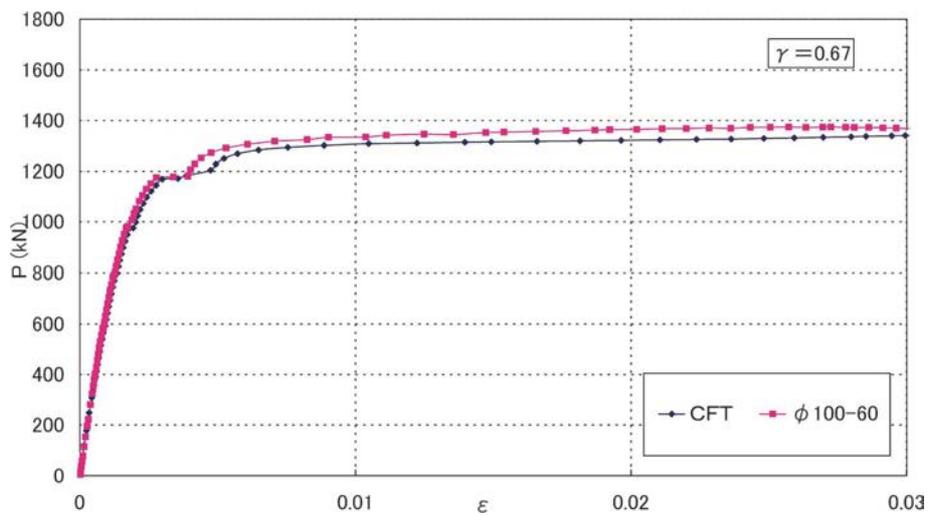


図8 荷重-ひずみ曲線 ($\gamma=0.67$)

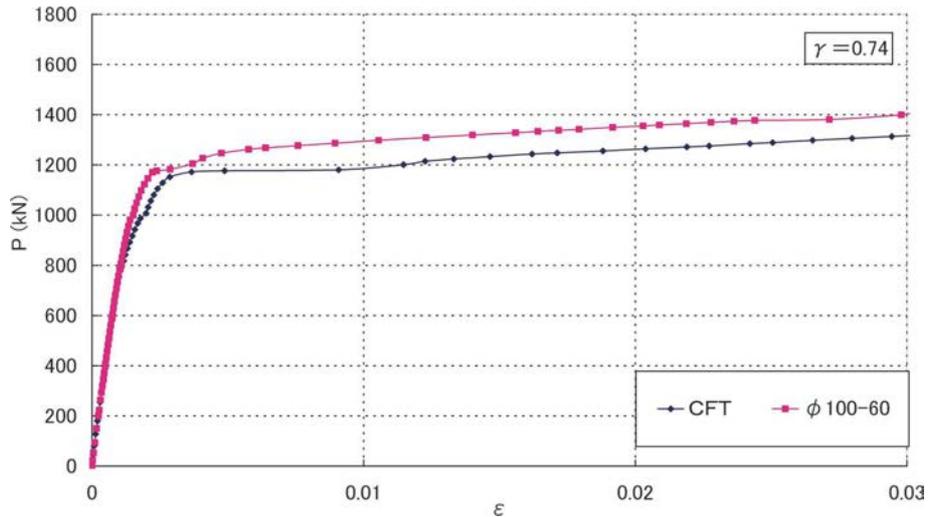


図9 荷重-ひずみ曲線 ($\gamma=0.74$)



CFT 試験体

RCFT 試験体

写真4 鋼材強度比 $\gamma=0.32$ 試験体 破壊形状

ている試験体もある事がわかる。

ここで、鋼材強度毎の RCFT 試験体の荷重を CFT 試験体の荷重で除した耐力比をまとめると図5のようになる。最大耐力時の耐力比は、1.0 程度であり、いずれの鋼材強度比の場合も変化が無い。しかし、塑性域に入ると鋼材強度比が低いケース ($\gamma=0.32$) において、耐力比に変化が現れる。試験体の鋼管ひずみ $\epsilon=0.01$ の場合、約 1.2 倍に増え、鋼管ひずみ $\epsilon=0.02$ の時は、耐力比が約 1.8 倍に上昇していることがわかる。以上のことから、鋼材強度比が低い場合、鉄筋による靱性向上が有効に働くことが明らかとなった。

3.3 荷重ひずみ曲線を用いた耐力比較

最大耐力での考察から、鋼材強度比で CFT との耐力比が異なる傾向にあった。図6から9に、各鋼材強度比における CFT と RCFT の荷重ひずみ曲線を示す。図6に示した鋼材強度比の低いケース ($\gamma=0.32$) では、CFT 試験体に最大耐力後の脆性破壊が見られるが、RCFT 試



鋼管表面

内部状況

写真5 鋼材強度比 $\gamma=0.67$ RCFT 試験体

験体では、CFT ほどの脆性的な破壊は見られない。

一方、図7~9に示す鋼材強度比が高いケース ($\gamma=0.59\sim 0.74$) では、CFT, RCFT とともに脆性的な破壊は確認されない。

よって、鋼材強度比の低いケース ($\gamma=0.32$) では CFT

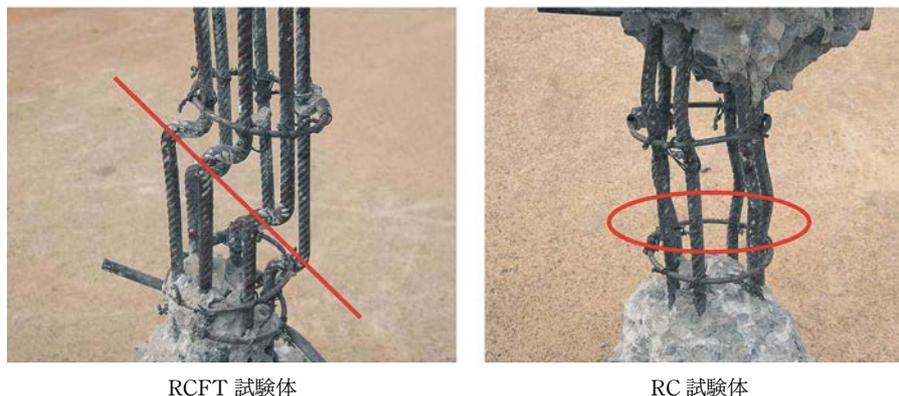


写真6 鋼材強度比 $\gamma=0.32$ 試験体 内部鉄筋破壊形状

の脆性的なせん断破壊を鉄筋により補強していることは明瞭であり、鉄筋によるせん断補強が有効であると推測される。

3.4 鋼材強度比毎のひずみ特性

表2から、鋼材強度比の低いケース ($\gamma=0.32$) でのRCFT試験体のひずみは、CFTに対し、最大耐力時で明らかに上昇しており、鉄筋による靱性向上が確認できる。一方、鋼材強度比が高いケースでは、それほど大きな差は見られない。つまり、これまでの考察と同様に、鉄筋の挿入による効果は鋼材強度比が低いケースに有効である事が確認できた。

さらに、鋼材強度比が低いケースにおいて、鉄筋配置による鋼管ひずみ特性について考察すると次のようなことが言える。

- ① スパイラル鉄筋を用いたケース(SP)と帯鉄筋を用いたケースに大きな差はない。
- ② $\phi 100$ と $\phi 60$ のケースを比較すると $\phi 100$ の方が比較的ひずみが大きい。

以上のような事が確認された。これらの事項については、今後の実験において鉄筋のひずみ測定で明確にする必要があると考える。

4. 破壊形状と鉄筋の機能

(1) 鋼管内部の破壊形状

試験後の破壊状況を鋼材強度比が低いケース ($\gamma=0.32$) において、CFT試験体、RCFT試験体(P30- $\phi 100$)を写真4に示す。CFT試験体については、せん断破壊面でコンクリートが破断していたが、RCFT試験体については、一部に局部座屈が確認されるものの、コンクリートが破断まで至っておらず、内部鉄筋がせん断破壊に抵抗していたことが確認できた。鋼材強度比が高いケース ($\gamma=0.67$) のRCFT試験体の破壊形状を写真5に示す。鋼材強度比が高いケースでは、RCFT、CFT試験体とも破断には至っておらず、上下部に局部座屈が発生してい

た。

(2) 内部鉄筋の破壊状況

鋼材強度比が低いケース ($\gamma=0.32$) において、試験後の各試験体コンクリートを砕き内部鉄筋を露出した。写真6にRCFT試験体、RC試験体の鉄筋状況をそれぞれ示す。写真から、以下のような違いが確認される。

- ① RCFT試験体では、コンクリートのせん断破壊面でせん断変形に追従した変形が生じる。
- ② RC試験体では帯鉄筋を節としたモード形状を持って座屈している。

5. 結 論

本実験によって、鋼材強度比の違いにおけるRCFT圧縮せん断試験を行い、その構造特性を明らかにした。本実験で得られた結論は以下の通りである。

- ① 鋼材強度比 $\gamma=0.32$ において、最大耐力後、内部のコンクリートのせん断破壊により、脆性的な耐力低下が生じることが明らかとなった。
- ② 最大耐力時のひずみ比較により、鋼材強度比が低いケースでは、鉄筋によるせん断補強が特に有効である。
- ③ 破壊後の内部鉄筋の状態から、RCFT試験体とRC試験体では、異なった破壊モードを有することが明らかとなった。
- ④ 最大耐力時の鋼管のひずみについて、スパイラル鉄筋、帯鉄筋を用いた場合でも、明瞭な差が無い。
- ⑤ 最大耐力時の鋼管ひずみについて、 $\phi 100$ と $\phi 60$ を比較したところ、外側に配置した場合($\phi 100$)の鋼管ひずみが大きい傾向にある。

最後に、本試験では鋼材高度比の影響を明らかにしたが、内部鉄筋のメカニズム、寸法効果など今後の実験で明らかにし、RCFT構造を実用化させるためにも、数々の実験・解析が必要である。

参考文献

- 1) 大日本コンサルタント 阪神淡路大全集
- 2) 土木学会：鋼構造物設計指針 PartB 合成構造物，丸善，
1997
- 3) 合成柱研究会：合成橋脚とその設計例・解説，現代理工学
出版，1992.7