

鋼管内蔵角形 CFT 柱の構造性能に関する研究

- その3 円形鋼管を内蔵した CFT 柱の圧縮性状 -

日大生産工(院) ○沖 誠人 日大生産工 藤本 利昭

1. はじめに

コンクリート充填鋼管(CFT: Concrete Filled Steel Tube, 以下, CFTと略記)構造は円形や角形の閉断面の鋼管の中にコンクリートを充填した合成構造である。鋼管と充填コンクリートの相互拘束効果(コンファインド効果)により軸圧縮耐力や曲げ耐力, 変形性能などの構造性能の向上が期待できる。

さらに近年では, 充填コンクリートの量を減らすことによる構造部材の軽量化を目的とし, 径が異なる2つの鋼管を同心が一致するように配置し, 両鋼管の間だけにコンクリートを充填したCFT柱や従来のCFT柱の中に鋼管を配置して構造性能の向上を目的としたCFT柱についての研究が行われている^{1)~4)}。しかしながら, これらの研究は円形断面に対するものが多く, 角形断面に対する研究はほとんど進められていないため, その構造性能は十分に解明されていないのが現状である。

そこで筆者らは, 鋼管を内蔵した角形CFT柱の基本的な構造性能を把握するために研究を行っている。前報(その1, その2)^{5), 6)}では内側鋼管に角形鋼管を用いた鋼管内蔵角形CFT柱の中心圧縮実験及び偏心圧縮実験を実施しその構造性能についての報告を行った。本報では内側鋼管に円形を用いた鋼管内蔵角形CFT柱の中心圧縮実験の結果について報告を行う。

2. 実験概要

(1) 試験体概要

表-1に試験体の一覧, 図-1に試験体の断面形状を示す。鋼管内蔵角形CFT試験体は外側鋼管を幅 $B_o=150\text{mm}$, 板厚 $t_o=4.5\text{mm}$ の正方形鋼管とし, 内側鋼管を径 $R_i=89.1\text{mm}$, 板厚 $t_i=3.2\text{mm}$ の円形鋼管とした。

また, 断面を構成する各部の相互拘束効果を明らかにするため, 外側鋼管, 内側鋼管, 外側コンクリート及び内側コンクリートと同一寸

法の鋼管試験体, コンクリート試験体, 及びCFT試験体を計画した。なお, 試験体の高さは $450\text{mm}(=3B_o)$ とした。

さらに内側鋼管及び内側コンクリートでは, 高さ 450mm の場合, 細長比が大きくなり, 本来の耐力が発揮されないと考え, 同断面の高さ $270\text{mm}(=3R)$ の鋼管試験体, コンクリート試験体及びCFT試験体も併せて計画した。

表-1 試験体一覧

試験体名称	幅×せい(径) $B_o \times D_o (R_o)$ [mm]	高さ L [mm]	板厚 t_o [mm]	幅厚比(径厚比) $B_o/t_o (R_o/t_o)$
S-1	150×150	450	4.30	34.9
S-2	89.1	450	3.12	28.6
S-3	89.1	270	3.12	28.6
C-1	141×141	450		
C-2	82.7	450		
C-3	82.7	270		
C-4	141×141	450		
CFT-1	150×150	450	4.30	34.9
CFT-2	89.1	450	3.12	28.6
CFT-3	89.1	270	3.12	28.6
CFDST	150×150	450	4.30	34.9
CFDLT	150×150	450	4.30	34.9

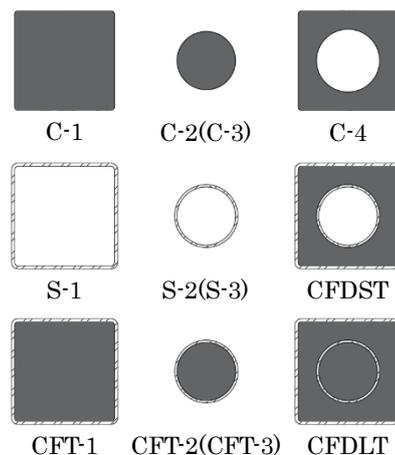


図-1 試験体形状

Experimental Study on Structural Performance of Rectangular Concrete-Filled Tubular Columns with Built-in Steel Tubes

- Part3 Compressive Behavior of Concrete-Filled Steel Tubular Columns with Embedded Circular Steel Tubes -

Makoto OKI and Toshiaki FUJIMOTO

表-2にコンクリートの調合表、表-3にコンクリートの材料試験結果、表-4に鋼材の材料試験結果を示す。なお、全ての試験体において、充填コンクリートには $F_c=30\text{N/mm}^2$ の普通コンクリート、外側鋼管には一般構造用角形鋼管STKR400、内側鋼管には一般構造用鋼管STK400を使用した。

鋼管内蔵角形CFT試験体の名称は、内側鋼管内にコンクリートを充填していないものを“CFDST”（CFDST：Concrete Filled Double Skin Steel Tubes）、内側鋼管内にコンクリートを充填したものを“CFDLT”（CFDLT：Concrete Filled Double Layer Steel Tubes）と示している。

鋼管内蔵角形CFTとの比較用の鋼管試験体、コンクリート試験体及びCFT試験体は、鋼管をS、コンクリートをC、CFTをCFTとし、末尾の数字に関しては、「-1」は角形断面、「-2」は円形断面、「-3」は円形断面で高さ270mm、「-4」は角形断面で円形鋼管と同一サイズの孔を開けた試験体である。

表-2 コンクリート調合表

単位質量[kg/m ³]						W/C[%]
セメント (C)	水 (W)	細骨材		粗骨材 砕石	混和剤	
		砂	砕砂			
365	186	545	235	948	3.65	51.0

表-3 コンクリート材料試験結果

	設計 基準 強度 F_c [N/mm ²]	圧縮 強度 σ_B [N/mm ²]	ヤング 係数 E_c [kN/mm ²]	圧縮強度時 ひずみ ϵ [%]	材齢 [日]
普通 コンクリート	30	36.1	24.4	0.09	84

表-4 鋼材材料試験結果

	板厚 t [mm]	降伏 強度 σ_y [N/mm ²]	引張 強度 σ_u [N/mm ²]	ヤング 係数 E_s [kN/mm ²]	伸び率 ϵ [%]
外側鋼管	4.30	271	422	205	45.9
内側鋼管	3.12	387	455		31.6

(2) 実験方法

図-2に実験で使用した試験機及び変位計測位置を示す。

実験では5000kN構造物試験機を使用し、試験体上下の拘束条件は固定とした。载荷は一方単調载荷とし、軸方向ひずみが5%に達するまで行った。また、軸方向ひずみは試験体の対角に設置した2つの変位計より得られた試験体

の全長に対する平均軸ひずみを用い、ひずみゲージより局所的なひずみを測定した。なお、試験体に様な荷重が作用するように、試験体上下面に硬質石膏による表面処理を施して実験を行った。

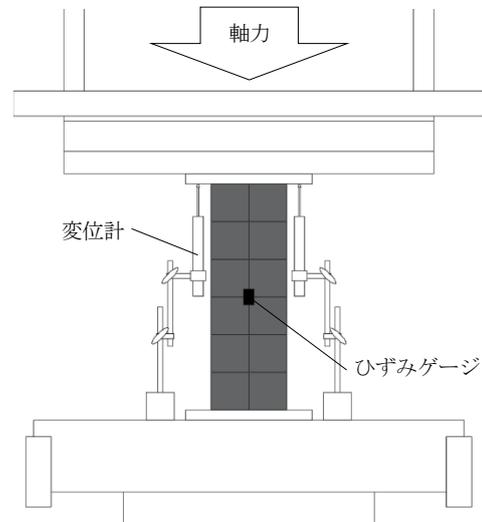


図-2 使用試験機

3. 実験結果

(1) 最大軸力

表-5にそれぞれの試験体の最大軸力の計算値 $N_0(=A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B)$ 、 A_s ：鋼管の断面積、 A_c ：コンクリートの断面積)及び実験値 N_u を示す。

表-5より、計算値 N_0 と実験値 N_u を比較すると、鋼管試験体とCFT試験体に関しては計算値と実験値が近い値を示したが、コンクリート試験体に関しては、全て計算値よりも大きく下回っていることがわかる。これはテストピースとの形状の違いや上下の拘束条件の違いにより、荷重が均等にかからなかったことが原因であると考えられる。

表-5 実験結果

試験体名称	最大軸力[kN]		実験値/計算値
	計算値 N_0	実験値 N_u	
S-1	667	832	1.25
S-2	326	330	1.01
S-3	326	330	1.01
C-1	715	496	0.69
C-2	196	83	0.42
C-3	196	100	0.51
C-4	494	319	0.65
CFT-1	1390	1405	1.01
CFT-2	522	570	1.09
CFT-3	524	566	1.08
CFDST	1490	1487	1.00
CFDLT	1683	1736	1.03

(2) 軸力-軸ひずみ関係

図-3-a)に、角形断面の中空鋼管試験体及びCFT試験体の軸力-軸ひずみ関係を、図-3-b)に試験体高さ450mmと270mmの円形断面の中空鋼管試験体とCFT試験体の軸力-軸ひずみ関係を、図-3-c)に内側鋼管内にコンクリートを充填していない鋼管内蔵角形CFT試験体(CFDST)と内側鋼管内にコンクリートを充填している鋼管内蔵角形CFT試験体(CFDLT)と同断面の従来のCFT試験体の軸力-軸ひずみ関係を示す。

図-3-a)の角形断面の鋼管試験体とCFT試験体で比較すると、CFT試験体の方が最大軸力は大きくなり、その後の耐力に関しては、鋼管試験体は低下し続けているのに対し、CFT試験体は平均軸ひずみが2.5%程度から増加していることがわかる。

図-3-b)の円形断面の鋼管試験体とCFT試験体で比較すると、CFT試験体の方が最大軸力は大きくなり、その後の耐力に関しては、鋼管試験体は低下しているが、CFT試験体はほぼ一定であることがわかる。また、円形試験体の高さの違いで比較すると、最大軸力及びその後の耐力の軌道に対する影響はほとんど見受けられなかった。

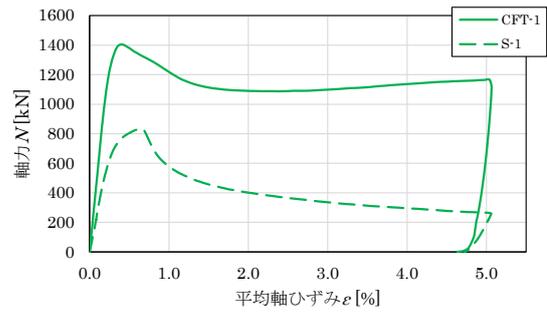
図-3-c)の鋼管内蔵角形CFT試験体の内側鋼管内のコンクリートの有無で比較すると、最大軸力に関しては、内側鋼管内にコンクリートを充填しているCFDLTの方が大きくなり、その後の耐力低下に関しては、内側鋼管内にコンクリートを充填しているCFDLTは、平均軸ひずみが1.5%あたりから徐々に増加していることがわかる。一方、内側鋼管内にコンクリートを充填していないCFDSTの耐力は増加することなく低下し続けている。

また、CFDSTと従来のCFT試験体を比較すると、最大軸力は計算値と同様にCFDSTの方がわずかに大きく、その後の耐力に関しては、CFDSTは低下し続けている。従来のCFT試験体は平均軸ひずみ2.5%程度から増加していることがわかるが、大きな差はほとんどない。次にCFDLTと従来のCFT試験体を比較すると、CFDLTの方が内側鋼管の影響により、最大軸力は大きくなり、その後の耐力はCFDLTの方が増加していることがわかる。

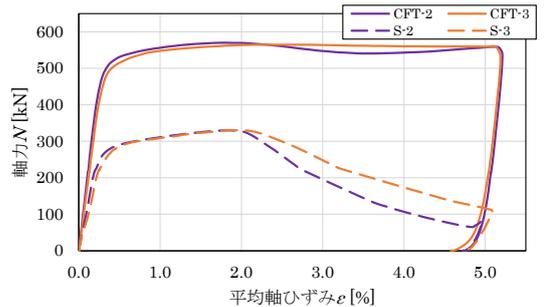
(3) 最終破壊形状

図-4にそれぞれの試験体の最終破壊形状を示す。

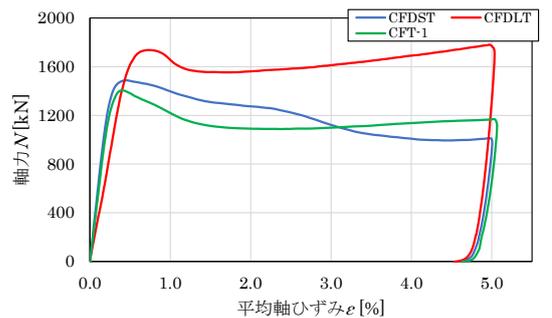
実験中の試験体の破壊形状について、鋼管試験体、CFT試験体及び鋼管内蔵角形CFT試験



a) 角形試験体



b) 円形試験体



c) 鋼管内蔵角形 CFT 試験体

図-3 軸力-軸ひずみ関係

体に関しては、最大軸力時は大きな変形は見られなかったが、平均軸ひずみが2%ほどになると顕著に局部座屈が見られた。また、コンクリート試験体に関しては、最大軸力を迎えた直後に、C-1,C-4は大きな音と共に激しく破壊し、試験体の破片が周りに散乱した。C-2,C-3に関しては、C-1,C-4と比べ、破壊時の激しさが小さく、試験体下部がバラバラになるような破壊の形状を示した。また、全てのCFT試験体はコンクリート試験体のような激しい破壊は起きなかった。

このことから、相互拘束効果の影響により、鋼管がコンクリートを拘束することでこのような爆裂破壊を防ぐことができるということが確認できた。また今回の実験から、コンクリート試験体は断面が大きいほど、破壊の際に衝撃が大きくなることが確認できた。

また、全てのCFT試験体において、コンクリートがせん断すべりを起こすような破壊形状をしていた。CFT-1及びCFT-2に関しては螺旋状に座屈しているのに対し、鋼管内蔵角形CFT試験体に関しては、全ての面、同じ高さで局部座屈が生じていることがわかる。またCFDSTの内側鋼管は、外側鋼管と同じ高さで内側に座屈していることを確認した。

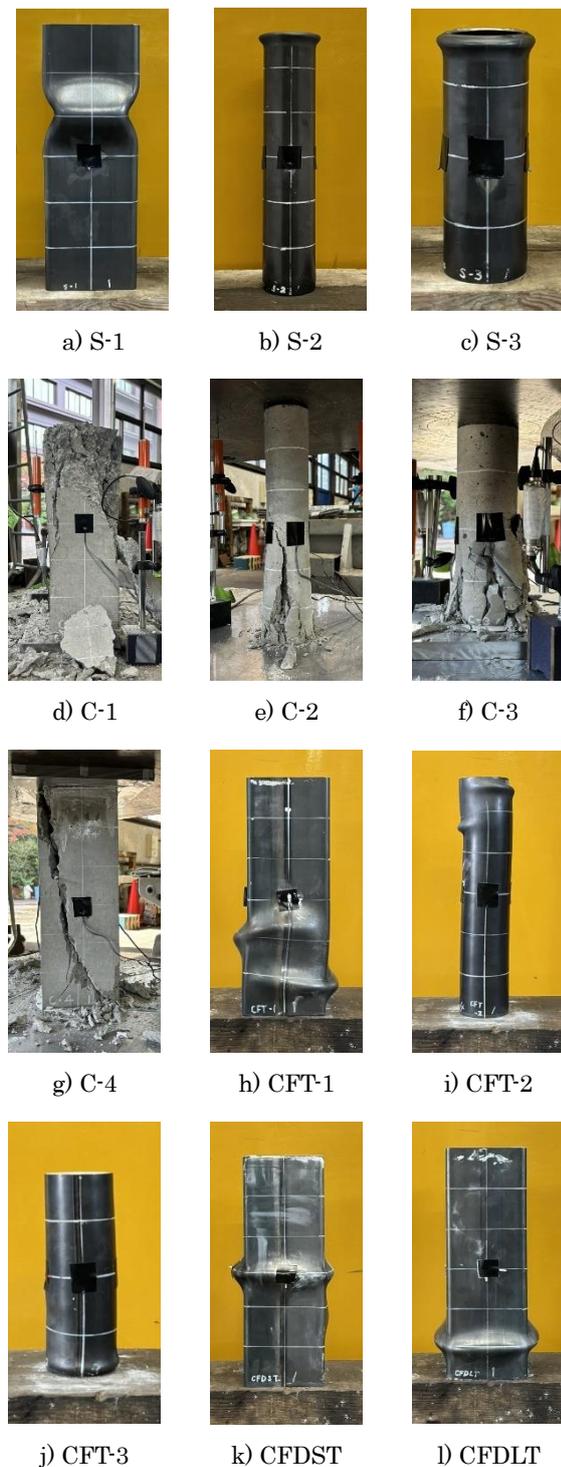


図-4 最終破壊形状

4. まとめ

今回の中心圧縮実験より得られた知見を以下に示す。

- 中心圧縮を受ける鋼管内蔵角形CFT柱は、同断面のCFT柱と比べて、内側に配置した中空鋼管があることにより、最大軸力が増大する。
- 中心圧縮を受ける鋼管内蔵角形CFT柱は、内側鋼管内にコンクリートを充填することで、最大軸力が増大し、その後の耐力低下は小さくなる。
- 同断面の中空鋼管及びCFTの円柱試験体において、試験体の高さの違いでは、最大軸力及びその後の耐力に大きな影響を与えない。
- コンクリート試験体の破壊において、断面の大きさに伴って、破壊時の衝撃が大きくなり、破片が散らばるような破壊が起きた。またCFT試験体はこのような破壊が発生しなかったことから、鋼管による拘束で爆裂破壊を防いでいることを確認した。
- 内側鋼管内にコンクリートを充填していない鋼管内蔵角形CFT柱と従来のCFT柱を比較して、軽量化に関しては期待できるが、最大軸力及び耐力低下などの構造性能の向上にはあまり期待できないと考えられる。

参考文献

- 1) 上中広二郎, 鬼頭宏明, 園田恵一郎, 二重鋼管合成短柱の圧縮特性に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第14巻, 第53号, 2007.3, pp.67-75
- 2) 林堂靖史, 杉浦邦征, 河野広隆, 大島義信, 出向井 雄一, コンクリート充填中空式二重鋼管柱の曲げ特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 54A, 2008.3, pp. 807-814
- 3) 上中広二郎, 濱本誠司, 鬼頭宏明, 二重鋼管合成柱の中心圧縮特性に及ぼす内・外鋼管厚比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.1.27, No.2, 2005, pp. 1285-1290
- 4) 李 文聰, 高軸力を受ける二重CFT柱の耐震性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2,2017, pp. 139-144
- 5) 沖誠人, 藤本利昭, 範シンウ, 鋼管内蔵角形CFT柱の構造性能に関する研究 —その1 中心圧縮実験—, 第56回(令和6年度)日本大学生産工学部学術講演会概要
- 6) 範シンウ, 藤本利昭, 沖誠人, 鋼管内蔵角形CFT柱の構造性能に関する研究—その1 偏心圧縮実験—, 第56回日本大学生産工学部学術講演会概要