

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 -

日大生産工(学部) ○沖 誠人 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工(院) 範 シンウ

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的性能が期待できる。

更に近年では, 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, 径が異なる二つの鋼管を同心円上に配置し, 両鋼管の間みにコンクリートを充填した二重鋼管合成柱についての研究が行われている¹⁾⁴⁾。しかし, 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。

そこで本研究では, 二つの角形鋼管を使用したCFT柱(以下, “鋼管内蔵角形CFT”)の基本的な構造性能を把握するため, 中心圧縮実験と偏心圧縮実験を行った。その1では中心圧縮実験について報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体概要

表-1に試験体一覧, 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 $t_o=4.5\text{mm}$, 内側鋼管を幅 $B_i=75\text{mm}$, 板厚 $t_i=3.2\text{mm}$ とした。

内側鋼管の回転角度による構造性能の影響を比較するために, 内側鋼管の角度を外側鋼管に対して 0° と 45° の2種類の試験体を用意し, さらに内側鋼管内のコンクリートの有無による比較を行うために, 内側鋼管内にコンクリートを充填したものと充填しないもの, 合計4本を計画した。また, 鋼管内蔵角形CFTとCFT柱及び鋼管との構造性能の比較を行うため, 外側鋼管及び内側鋼管と同じ寸法のCFT及び中空鋼管の試験体, 計4本も併せて計画した。なお, 試験体の高さは $450\text{mm}(=3B_o)$ に統一した。

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 $F_c=36(\text{N}/\text{mm}^2)$ を, 鋼管には一般構造用角形鋼管STKR400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, これに加えて, 内側鋼管の回転角度を 0° , 45° としたものをそれぞれ“0”, “45”とした。

鋼管内蔵角形CFTとの比較用のCFT柱及び鋼管の試験体の名称は, CFTをCFT, 中空鋼管をSとし, 鋼管の幅と組み合わせて示している。

表-1 試験体一覧

試験体名称	試験体寸法			
	幅×せい $B_o \times D_o$ (mm)	高さ L (mm)	板厚 t_o (mm)	幅厚比 $D_o/t_o (B_o/t_o)$
CFT150	150×150	450	4.28	33.3
S150	150×150	450	4.28	33.3
CFT75	75×75	450	3.24	23.4
S75	75×75	450	3.24	23.4
CFDST0	150×150	450	4.28	33.3
CFDLT0	150×150	450	4.28	33.3
CFDST45	150×150	450	4.28	33.3
CFDLT45	150×150	450	4.28	33.3

※内側鋼管寸法はS75と同じ

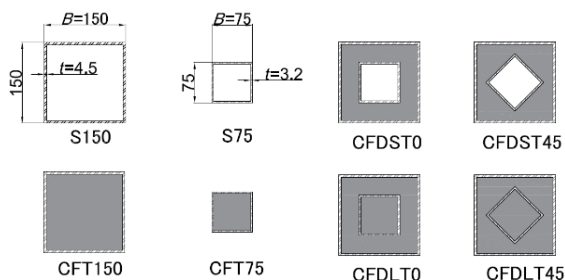


図-1 試験体形状(単位: mm)

表-2 コンクリートの調合表

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

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

- Part1 Center Compression Experiment -

Makoto OKI, Toshiaki FUJIMOTO and Sinwu HAN

表-3 コンクリートの材料試験結果

	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)	圧縮強度ひずみ ϵ (%)	材齢 (日)
中心圧縮実験	36.0	39.1	34.2	0.19	100

表-4 鋼材の材料試験結果

	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 (%)
□-150×4.5	4.28	372	432	205	31.4
□-150×3.2	3.24	447	474		22.3

(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。荷重は一方単調荷重とし、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。

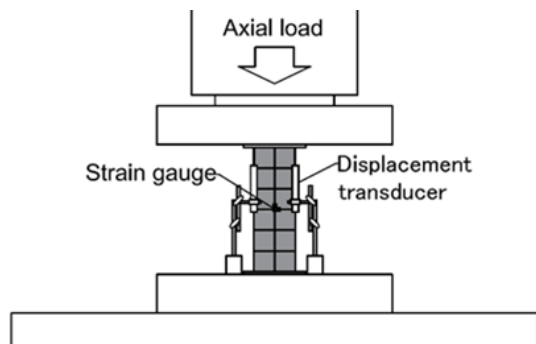


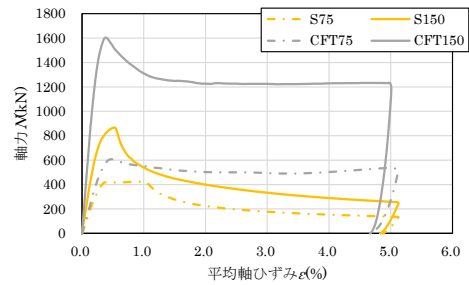
図-2 中心圧縮実験

3. 実験結果

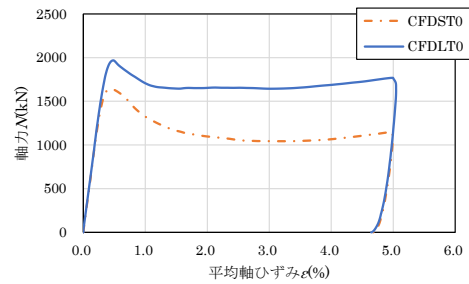
(1) 軸力-軸ひずみ関係

図-3に実験の軸力-軸ひずみ関係、表-5に最大荷重の計算値 $N_0 (=A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B)$ 、 A_s : 鋼管の断面積、 A_c : コンクリートの断面積、実験値 N_u 及び最大荷重時の平均軸ひずみ ϵ を示す。図-3の縦軸は試験機による軸力 N 、横軸は平均軸ひずみ ϵ を示している。

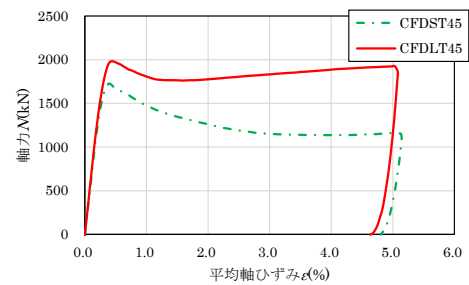
図-3 a)及び表-5より、S75とCFT75は実験値 N_u が計算値 N_0 を僅かに上回っていることがわかる。計算値に対する実験値の比 N_u/N_0 はそれぞれ1.06, 1.04であった。また、S150とCFT150は実験値 N_u が計算値 N_0 を若干下回り、 N_u/N_0 はそれぞれ0.91, 0.92であった。また、鋼管内蔵角形CFT試験体においては、すべて実験値 N_u が計算値 N_0 を下回った。



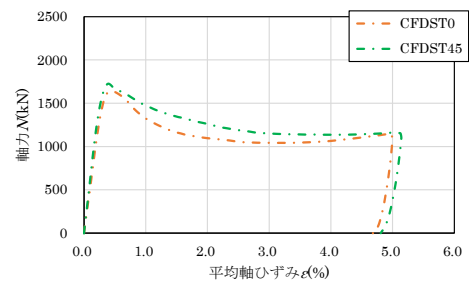
a) 中空鋼管, CFT



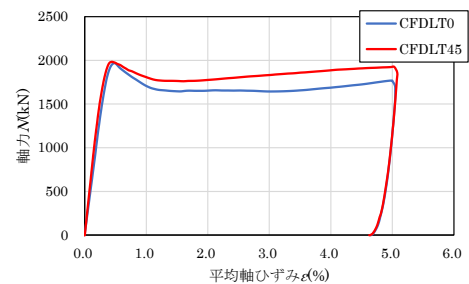
b) 内側鋼管 0°



c) 内側鋼管 45°



d) 内側コンクリートなし



e) 内側コンクリートあり

図-3 軸力-軸ひずみ関係

図-3 b), c)より内側鋼管の回転角度は等しく、内側鋼管内のコンクリートの充填の有無が異なる試験体で比較すると、内側鋼管の回転角度 0° 、 45° ともに内側鋼管内にコンクリートを充填した方が最大荷重と最大荷重時の平均軸ひずみは大きくなった。また、最大荷重時以降の耐力低下に関しても、内側鋼管内にコンクリートを充填した方が小さくなった。これらのことから内側鋼管内にコンクリートを充填することで、軸圧縮耐力および変形性能が向上することがわかる。

図-3 d), e)より内側鋼管の回転角度が異なる試験体で比較すると、内側鋼管内のコンクリートを充填した試験体と充填しない試験体どちらの場合においても内側鋼管の回転角度が 45° の試験体の方が僅かであるが最大軸力が大きくなった。最大荷重時の平均軸ひずみは、内側鋼管内にコンクリートを充填した試験体と充填しない試験体どちらも 45° の方が小さくなった。また、最大荷重以降の耐力低下は 0° より 45° の方が小さくなったことから、内側鋼管の回転角度を 45° にすることで軸圧縮耐力および変形性能が僅かに向上することがわかる。これは試験体の座屈を考えると、 45° の試験体は内側鋼管と外側鋼管が同一断面で座屈しても、内側鋼管が座屈している箇所の外側鋼管は鋼管の角となるため、内側鋼管と外側鋼管では座屈する方向が異なるということがわかる。よって 45° の方が 0° よりも構造性能が良かったものと考えられる。

また最大軸力の計算値は、 $S150 < CFT150 < CFDST < CFDLT$ の順に大きくなっている。また、実験結果に関しても順番は同様であり、内側鋼管およびコンクリートも軸方向力を負担することが確認できた。

表-5 実験結果

試験体名称	最大荷重			
	計算値 N_0 (kN)	実験値 N_u (kN)	実験値 /計算値	平均軸ひずみ ϵ (%)
S75	399	424	1.06	0.955
S150	955	867	0.91	0.514
CFT75	583	609	1.04	0.477
CFT150	1734	1603	0.92	0.391
CFDST0	1906	1639	0.86	0.425
CFDST45	1906	1726	0.91	0.402
CFDLT0	2090	1967	0.94	0.477
CFDLT45	2090	1983	0.95	0.438

(2) 最終破壊形状

図-4に試験後の鋼管内蔵角形CFT試験体の最終破壊形状を示す。

試験中、目視で確認したところ、各試験体とも最大荷重以前はごく僅かに鋼管が膨らんでいるのを確認した。最大荷重以降は平均軸ひずみが1%以降で顕著に鋼管の膨らみを確認した。

図-4 a)とc), b)とd)の内側鋼管の回転角度は等しく、内側鋼管内のコンクリート充填の有無が異なる試験体で比較すると、内側鋼管内にコンクリートを充填していない試験体は各面異なる断面高さで座屈していることがわかる。また、コンクリートを充填している試験体は各面同じ断面高さで外側に膨らむ座屈形状を示した。

図-4 a)とb), c)とd)の内側鋼管の回転角度が異なる試験体で比較すると、内側鋼管内にコンクリートを充填した試験体に関しては目に見えた大きな差は見受けられなかった。しかし、コンクリートを充填しなかった試験体に関して、CFDST0の外側鋼管は斜めに座屈しており、内側鋼管は同一断面高さで内側に座屈しているのが確認できた。それに対しCFDST45は、外側鋼管・内側鋼管ともに螺旋状に座屈した形状を示した。

このことから、内側鋼管内にコンクリートを充填したものに関しては内側鋼管の回転角度の変化が破壊形状に影響することがわかる。

一方で、破壊形状が軸力-軸ひずみ関係に与える影響はほとんど認められなかった。

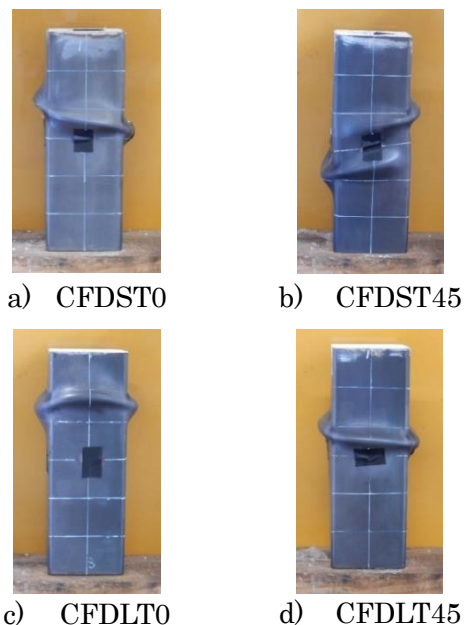


図-4 最終破壊形状

(3) 拘束効果に関する考察

図-5に実験の軸力-軸ひずみ関係に加え、拘束をしていない場合のコンクリート及び鋼管+コンクリートの軸力-軸ひずみ関係を併せて

示す。なお、コンクリートのグラフはPopovicsの式より求められたものである⁵⁾。

図-5 a), b), d)において、コンクリートの耐力と鋼管の耐力を足し合わせたグラフは最大荷重後、軸ひずみが増加するごとに顕著に耐力低下していることがわかる。また、CFT及び鋼管内蔵角形CFT試験体に関しては、先ほどのグラフと比べて耐力低下が少ない。これはCFTの相互拘束効果によるものであると考えられる。また今挙げた2つのグラフは、どちらも最大荷重が近いという点から、試験体の最大荷重は相互拘束効果に左右されないということがわかる。

図-5 c), d)に関しては鋼管とコンクリートの耐力を足し合わせたグラフの耐力低下と鋼管内蔵角形CFTのグラフの耐力低下を比較すると、CFDSTに関しては、軸ひずみが2%くらいまでは同じ軌道を辿っており、その後少しずつ変化している。CFDLTに関しては、最大荷重後すぐに、耐力低下の軌道が分かれている。このことから、CFDSTの方がCFDLTよりも相互拘束効果の影響を受けにくいことがわかる。

4. まとめ

鋼管内蔵角形CFTの中心圧縮実験から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は同断面のCFT柱に比べ、内側鋼管により、最大荷重が増大する。
- 中心圧縮を受ける鋼管内蔵角形CFT柱において、内側鋼管の回転角度が0°より45°の方が最大荷重は高く、最大荷重時の平均軸ひずみ及び最大荷重以降の耐力低下は45°の方が小さい。
- 最終破壊形状に関して、内側鋼管内にコンクリートを充填した試験体は内側鋼管の回転角度が異なる場合でも形状に大きな差はない。内側鋼管内にコンクリートを充填していない試験体は内側鋼管の回転角度で外側鋼管・内側鋼管ともに破壊形状が異なる。

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) 日本建築学会関東支部, 合成構造の設計-学びやすい構造設計-, 日本建築学会関東支部, 2022, pp.44-46

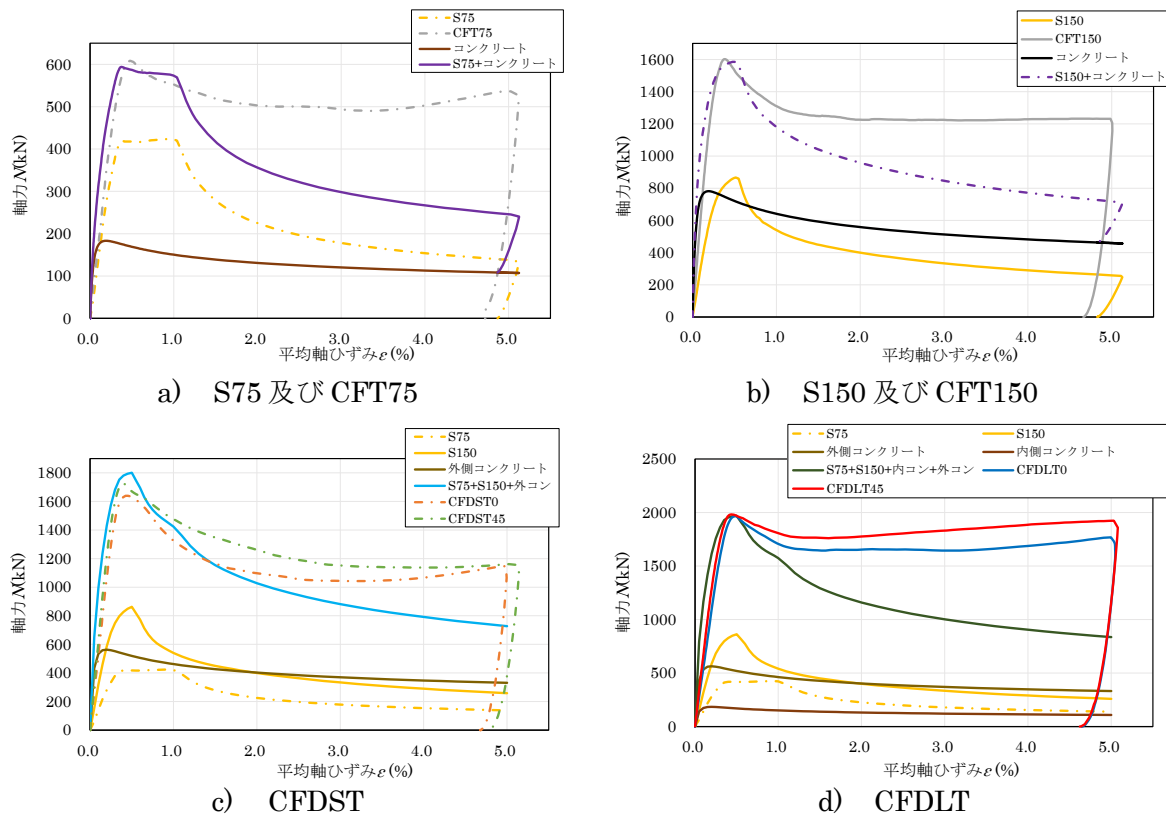


図-5 軸力-軸ひずみ関係(耐力低下)