

(9) 鋼管内蔵角形 CFT 柱の構造性能に関する 実験的研究

範 シンウ¹・藤本 利昭²

¹正会員 日本大学大学院生産工学研究科 建築工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1 丁目 2-1)
E-mail: cish22039@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学生産工学部建築工学科 教授・博士(工学) (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1 丁目 2-1)
E-mail: fujimoto.toshiaki@nihon-u.ac.jp

近年、充填コンクリート量を低減し軽量化を目指すため、異なる径の二つの鋼管を同心円上に配置し、その間にのみにコンクリートを充填する二重鋼管合成柱について研究が行われている。しかしながら、これらの研究は円形断面に対するものであり、角形断面に対しての研究はほとんどない。本研究では、角形断面の鋼管を内蔵した CFT 柱の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。

Key Words: Building structure, Various structures, Structural materials, High-rise buildings, CFT columns

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) 構造は鋼管の内部にコンクリートを充填した鋼とコンクリートの合成構造のことである。強度・剛性・靱性能に優れているため、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造に次ぐ第四の構造として注目されている。

近年、既往の研究では、充填コンクリート量の低減による軽量化を目的とし、径が異なる二つの鋼管を同心円上に配置し、両鋼管の間にのみ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⁾。

しかしながら、これらの研究は円形断面に対するものであり、角形断面に対しての研究はほとんどなく、その構造性能は十分に解明されていない。そこで本研究では、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、中心圧縮実験と偏心圧縮実験を行った。

の角度を外側鋼管に対して 0° , 45° の 2 種類、さらに内側鋼管のコンクリート充填有無による比較のため、内側鋼管内コンクリート有り、コンクリート無しとした試験体を中心圧縮実験 4 体と偏心圧縮実験 4 体、計 8 体を計画した。また、鋼管内蔵角形 CFT の構造性能と比較するため、外側鋼管および内側鋼管と同じ寸法の CFT および中空鋼管の計 4 体も併せて製作した。なお、試験体の高さは $450\text{mm}(=3B_o)$ に統一した。

表-1 に鋼材の材料実験結果、表-2 にコンクリートの材料試験結果を示す。なお、何れの試験体も鋼管には一般構造用角形鋼管 STKR400 を、充填コンクリートには $F_c=36(\text{N/mm}^2)$ を使用した。

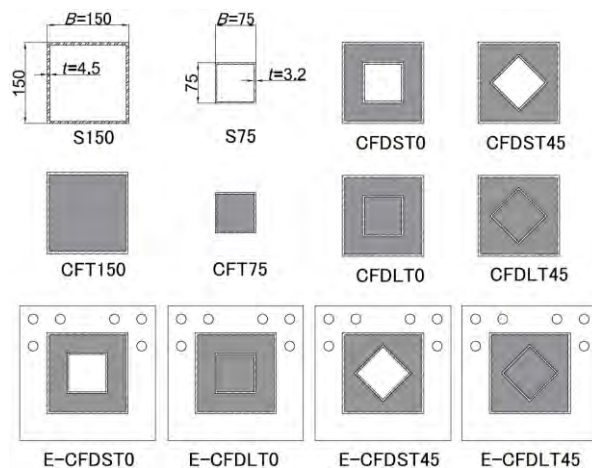


図-1 試験体形状 (単位 : mm)

2. 実験概要

(1) 試験体概要

図-1 に試験体形状を示す。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。試験体は内側鋼管

鋼管内蔵角形CFTの試験体名称は内側鋼管にコンクリート充填していないものを“CFDST”（CFDST：Concrete Filled Double Skin Steel Tubes）、内側鋼管にコンクリート充填したものを“CFDLT”（CFDLT：Concrete Filled Double Layer Steel Tubes）と示し、これに加え、内側鋼管の角度を 0° 、 45° としたものをそれぞれ“0”、“45”とし、偏心圧縮実験の試験体はEとした。

鋼管内蔵角形 CFT との比較に用いた試験体名称は、CFT を CFT，中空鋼管を S とし鋼管幅と組み合わせを示している。

表-1 鋼材の材料実験結果

	板厚 t (mm)	降伏強度 σ_s (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

表-2 コンクリートの材料実験結果

	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
偏心圧縮実験		38.9	32.0	0.18	184

(2) 実験方法

図-2 に中心圧縮実験に用いた载荷装置および変位計測位置を、図-3 に偏心圧縮実験に用いた载荷装置および変位計測位置を示す。

中心圧縮実験は 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。载荷は一方向単調载荷とし、軸方向ひずみが 5%に達するまで行うこととした。なお、一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。

偏心圧縮実験の加力は 2000kN 万能試験機を使用し、試験体上下の拘束条件は上下ともにピンとし、偏心距離 e が 25mm となるよう取り付けられた。载荷は一方向単調载荷とし、曲率 ϕD (D : 断面のせい) が 5%に達するまで実験を行った。

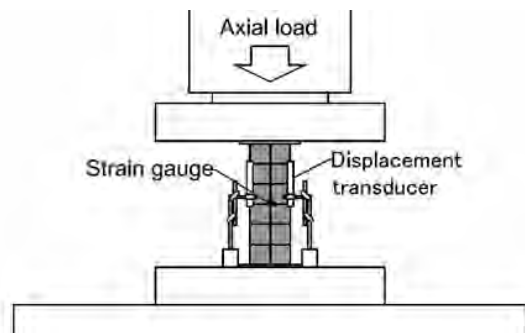


図-2 中心圧縮実験

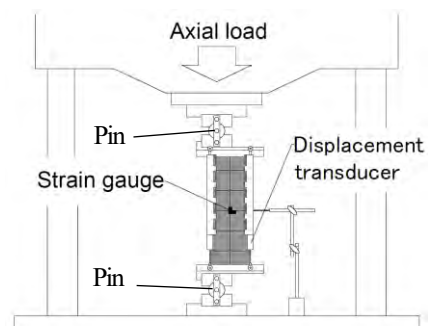


図-3 偏心圧縮実験

3. 実験結果

(1) 軸力—軸ひずみ関係（中心圧縮実験）

図-4 に中心圧縮実験の軸力—軸ひずみ関係、表-3 に最大耐力の計算値 $N_0 (=A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B)$ 、 A_s : 鋼管の断面積、 A_c : コンクリートの断面積) と実験値 N_u を示す。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。平均軸ひずみ ϵ 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全長に対する平均軸ひずみを用いた。

図-4 a) 及び表-3 より、幅 $B=75\text{mm}$ の鋼管試験体 (S75) と CFT 試験体 (CFT75) は実験値 N_u が計算値 N_0 を上回り、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。一方、幅 $B=150\text{mm}$ の鋼管試験体 (S150) と CFT 試験体 (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。

図-4b), c) より内側鋼管の回転角度が等しく、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、内側鋼管の回転角度が 0° と 45° のどちらの試験体も内側鋼管の中にコンクリートを充填した方が最大軸力と最大荷重時の平均軸ひずみは大きくなった。また、最大荷重以降の耐力低下に関しては、内側鋼管の中にコンクリートを充填した方が小さくなり、内側鋼管の中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-4d), e) より内側鋼管の角度が異なる試験体について比較すると、内側鋼管の中にコンクリートを充填した試験体と充填しない試験体のどちらの場合においても内側鋼管の回転角度が 45° の試験体の僅かでは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、内側鋼管の中にコンクリートを充填した試験体と充填しない試験体のどちらも 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° の方が小さかったことから、内側鋼管の回転角度を 45° 傾けることにより、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。

また最大軸力の計算値は、鋼管試験体 (S150) < CFT 試験体 (CFT150) < 鋼管内蔵角形 CFT (CFDST) < CFDLT の順に大きくなっているが、実験結果につい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。

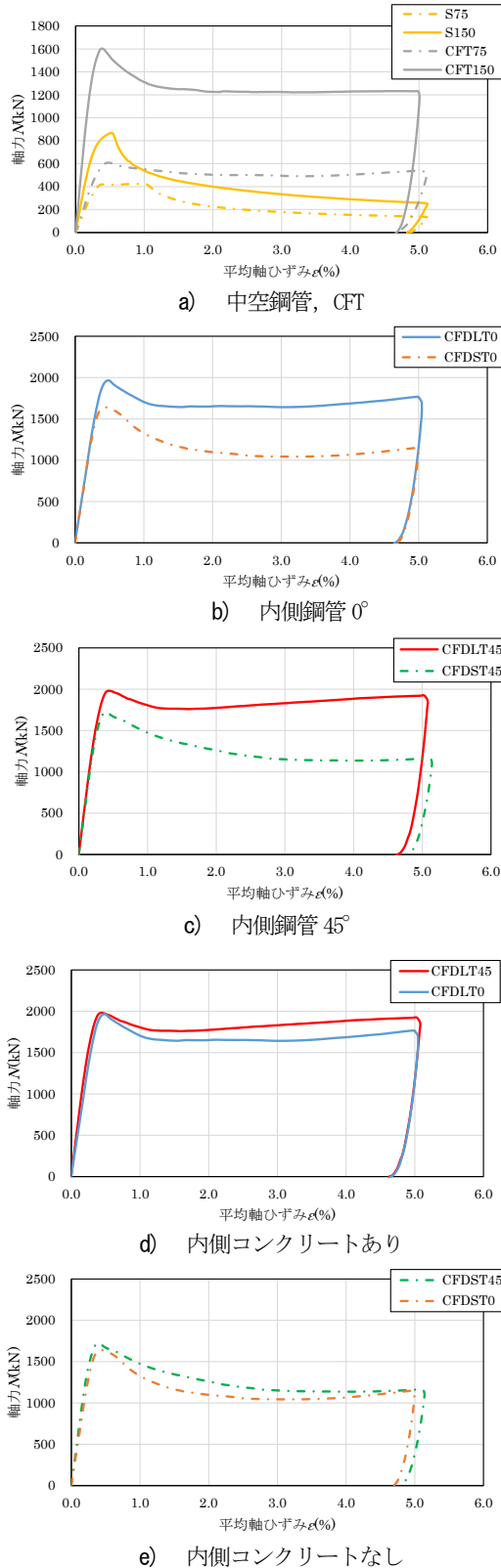


図-4 軸力-軸ひずみ関係

表-3 実験結果

試験体名称	最大耐力		
	計算値 N_0 (kN)	実験値 N_u (kN)	実験値 /計算値
S75	399	424	1.06
S150	955	867	0.91
CFT75	583	609	1.04
CFT150	1734	1603	0.92
CFDST0	1906	1639	0.86
CFDST45	1906	1726	0.91
CFDLT0	2090	1967	0.94
CFDLT45	2090	1983	0.95

※ N_0 : 鋼管とコンクリートの累加耐力。

N_u : 実験の最大荷重。

(2) 軸力-軸ひずみ関係 (偏心圧縮実験)

図-5 に偏心圧縮実験より得られた軸力-軸ひずみ関係を示す。縦軸は実験で得られた軸力 N 、横軸は全体の平均軸ひずみ ε を示している。

図-5a), b) より内側鋼管の回転角度が同じ試験体で内側鋼管内部のコンクリート充填の有無で比較すると、内側鋼管の回転角度 0° と 45° の試験体どちらも内側鋼管の中にコンクリートを充填した方が最大軸力は大きくなることが分かった。また、最大軸力以降の耐力低下は、内側鋼管の中にコンクリートを充填した方が小さく、偏心圧縮実験においても、内側鋼管の中にコンクリートを充填した方が耐力、変形性能ともに向上する結果となった。

次に内側鋼管の角度の違いによって比較すると、図-5c) より内側鋼管の中にコンクリートを充填した試験体では、内側鋼管の回転角度が 45° の方が最大軸力は大きくなっていた。最大荷重時の軸ひずみは、 45° の方が小さくなったが、最大荷重以降の耐力低下は 45° の方が小さく、耐力、変形性能は 0° より 45° の試験体が僅かに上回る結果であった。

同様に内側鋼管の中にコンクリートを充填しない試験体について内側鋼管の角度の違いによって比較すると、図-5d) より差異はほとんど認められない結果であった。

表-4 偏心圧縮実験結果

試験体名称	最大耐力		
	計算値 N_0 (kN)	実験値 N_u (kN)	実験値 /計算値
E-CFDST0	1440	1304	0.91
E-CFDST45	1416	1312	0.93
E-CFDLT0	1624	1417	0.87
E-CFDLT45	1600	1456	0.91

※ N_0 : 鋼管とコンクリートの累加耐力。

N_u : 実験の最大荷重。

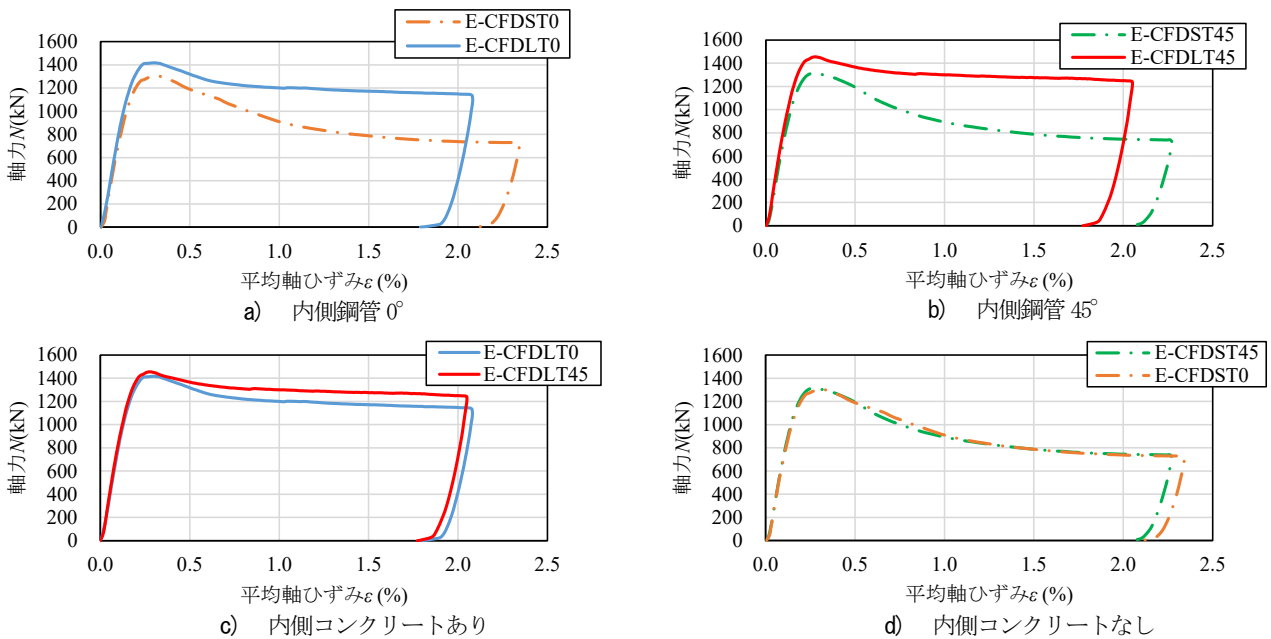


図-5 軸力-軸ひずみ関係

(3) 軸力-曲げモーメント関係（偏心圧縮実験）

図-6 は、鋼管及び充填コンクリートの全塑性状態を仮定した計算により求めた鋼管内蔵角形 CFT 柱の軸力 N - 曲げモーメント M 関係の相関曲線に、実験結果から得られた軸力-曲げモーメント関係をプロットしたものである。なお、実験結果で示した軸力-曲げモーメント関係において、横軸の曲げモーメントには偏心圧縮実験における試験体高さ中央部でのたわみによる付加曲げモーメントを考慮した値としている。

図-6 a), b) より、内側鋼管の回転角度が同じで内側鋼管内部のコンクリートの充填の有無で比較すると、内側鋼管の回転角度 0° と 45° の試験体どちらも内側鋼管の中にコンクリートを充填しない試験体では軸力が最大値に達した後、曲げモーメントも低下してしまうのに対し、コンクリートを充填した試験体では、軸力低下後も付加曲げモーメントの影響により曲げモーメントが増加していることがわかる。

同様に図-6 c), d) を見ても、内側鋼管の中にコンクリートを充填しない試験体では、最大軸力到達後に曲げモーメントも低下しているのに対し、コンクリートを充填した試験体は曲げモーメントが増加し、計算耐力に対し近い値を示していることが確認できる。その傾向は、内側鋼管の回転角度が 0° の試験体に対して 45° の試験体のほうがより顕著である。

4. まとめ

中心圧縮実験及び偏心圧縮実験から、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 柱は同断面の CFT 柱に比べ、内蔵鋼管の影響により、最大荷重が増大する。
- 偏心圧縮を受ける鋼管内蔵角形 CFT 柱は、内側鋼管内部にコンクリートを充填することで、最大荷重と最大曲げモーメントが増大する。
- 中心圧縮を受ける鋼管内蔵角形 CFT 柱において、内側鋼管の角度が異なる場合、内側と外側の鋼管の向きが等しい 0° に比べ 45° 回転させた方が最大荷重も高く、最大荷重後の荷重の低下もわずかで変形性能が良い。
- 偏心圧縮を受ける鋼管内蔵角形 CFT 柱において、内側鋼管の角度が異なる場合、 45° とした方が 0° に比べ最大曲げモーメントが増大する。

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, pp.67-75, 2007
- 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, pp. 807-814, 2008
- 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, Vo 1.27, pp. 1285-1290, No.2, 2005
- 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, pp. 139-144, 2017

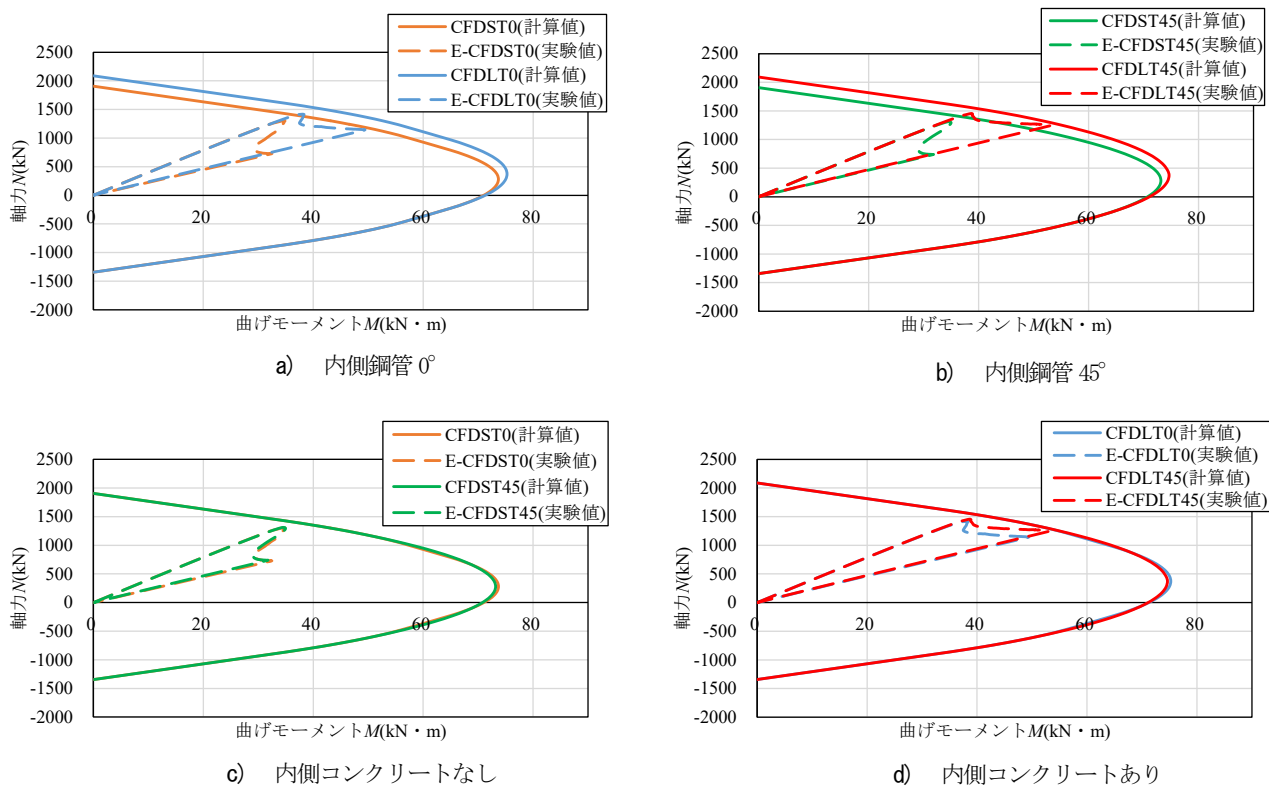


図-6 軸力-曲げモーメント関係

(Received August 25, 2023)

EXPERIMENTAL STUDY ON STRUCTURAL PERFORMANCE OF RECTANGULAR CONCRETE-FILLED TUBULAR COLUMNS WITH BUILT-IN STEEL TUBES

Sinwu HAN, Toshiaki FUJIMOTO

In recent years, with an aim to reduce the amount of filled concrete and reduce weight, research has been conducted on double steel pipe composite columns in which two steel pipes of different diameters are concentrically placed with concrete filled only between them. However, these studies have been conducted on circular cross-sections, and there have been only few studies on square cross-sections. In this study, both centered and eccentric compression tests are conducted to understand the structural performance of concrete-filled tubular columns with built-in steel tubes of square cross section.