

変動軸力を受ける CFT 柱部材の変形性能とエネルギー吸収性能

Deformation Capacity and Energy Absorption Capacity of Concrete Filled Tube Beam-Column under Varying Axial Force

稲田 輝巳\*1 村山 双美\*1 土井 希祐\*2

Terumi INADA\*1 Fumi MURAYAMA\*1 Mareyasu DOI\*2

変動軸力下でのCFT柱部材の変形性能・エネルギー吸収性能について、基礎的データを得ることを目的とし、既往研究と比較を目的としたCFT柱試験体を製作し、同条件で静加力実験を行った。さらに本研究の実験結果を既往研究の試験体と比較すると共に、文献<sup>5)</sup>・<sup>6)</sup>のCFT試験体と併せて分析を行なった。

その結果、変動軸力下において CFT 柱部材は、圧縮側と引張側で異なる変形性能・エネルギー吸収性能を示すことを確認した。

CFT 部材 変動軸力 限界変形角 変形性能 エネルギー吸収性能

CFT beam-column, varying axial force, limiting value for rotation angles, deformation capacity, energy absorption capacity

1. 研究目的

一般的に、中高層建物の下層階の柱は、地震時において、大きな変動軸力を受ける。コンクリート充填鋼管柱 (CFT) 構造をはじめとする鋼コンクリート合成構造は高層建物に用いられることが多く、各々の部材について、力学的特性が明らかにされてきている。しかし、それらの研究のほとんどは一定軸力を受けるものであり、変動軸力を受ける場合の研究は数が少ない。

既往研究<sup>1)~4)</sup>においてSRC柱部材およびRC柱部材の変動軸力下における変形性能・エネルギー吸収性能について報告してきた。

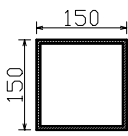
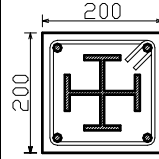
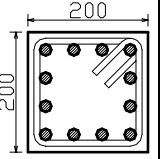
そこで本研究ではCFT柱部材の静加力実験を行い、既往研究<sup>3),4)</sup>のSRC、RC試験体と比較する。また本研究とは異なる条件で実験された文献[5][6]のCFT柱試験体と共に分析し、変動軸力下におけるCFT柱部材の変形性能とエネルギー吸収性能についての基礎的データを得ることを目的としている。

2. 実験方法

2.1 試験体

本研究および既往研究<sup>3),4)</sup>の試験体断面一覧を表 - 1 に、試験体形状を図 - 1 に示す。本研究は既往研究との比較を目的とするため、試験体の鋼材部断面積がなるべく等しくなるように設計し、同じ加力条件の下、CFT柱試験体の静加力実験を行なう。

表 - 1 試験体断面一覧

試験体名	8(CFT)	5(SRC)	5(RC)
断面形状	 - 150 x 150 x 6	 2H · 125 x 60 x 6 x 8 4 · D13 hoopD6@50	 12 · D19 hoopD10@50
鋼材断面積	3456mm <sup>2</sup>	3698mm <sup>2</sup>	3438mm <sup>2</sup>
文献	本研究	[3]	[4]

\*1 新潟大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ.

\*2 新潟大学工学部建設学科 教授・博(工)

Prof., Dept. of Arch. And Civil Eng., Niigata Univ., Dr. Eng.

試験体寸法を 150 × 150mmとしたのは、200 × 200mmの鋼管で適当な寸法のものがないということと加力装置の荷重能力を勘案したためである。但し、試験体の幅と高さの比率は既往研究の試験体のものと同等である。試験部分には 150 × 150 × 6mmの角形鋼管 (STKR400) を使用し、 $F_c = 21\text{kN/mm}^2$  のコンクリートを充填した。加力スタブには 300 × 200 × 16 × 16mm<sup>2</sup> の組み立てH形鋼 (SS400) を使用した。使用材料の力学的特性を表 - 2、3 に示す。

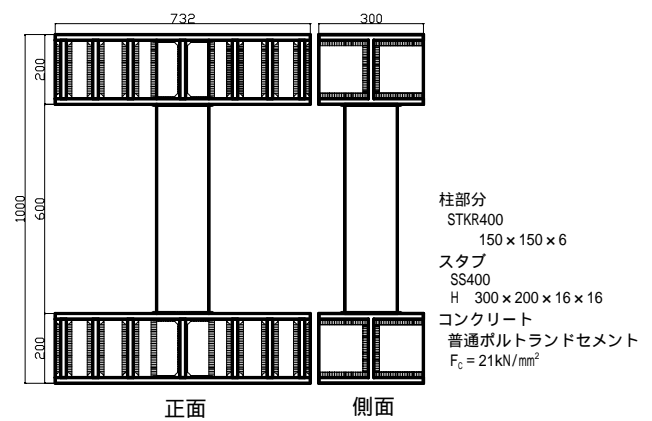


図 - 1 試験体形状

## 2.2 載荷方法

図 - 2 に加力装置を示す。の 980kN 圧縮油圧ジャッキにより試験体柱部分に圧縮軸力を作用させる。の 294kN 圧縮引張油圧ジャッキにより、試験体上部加力スタブを水平に保持すると共に、試験体柱部分に引張軸力を作用させる。の 490kN 圧縮油圧ジャッキにより試験体に水平力を作用させる。

地震時を想定し試験体には、図 - 3 と式(1)に示す、軸力比 +0.5 $N_y$  ~ -0.2 $N_y$  の変動軸力を作用させ、主軸方向に漸増振幅交番繰り返し水平力を作用させるように計画した。

$$N = 126.9 + 3.575 \times H \text{ [kN]} \dots\dots (1)$$

ここに、N：軸力 H：水平力

水平力の荷重履歴を表 4 に示す。部材角  $R = 5, 10, 15, 20, 40\text{rad}$  で正負繰り返し載荷し、各々2回ずつ行った後、正方向へ加力装置の限界まで載荷した。

表 - 2 鋼材の力学的特性

	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 ( $\times 10^5$ MPa)
鋼管	395	443	2.12

表 - 3 コンクリート力学的特性

	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 ( $\times 10^5$ MPa)	材齢 (日)
No. 8	25.1	2.59	2.51	34

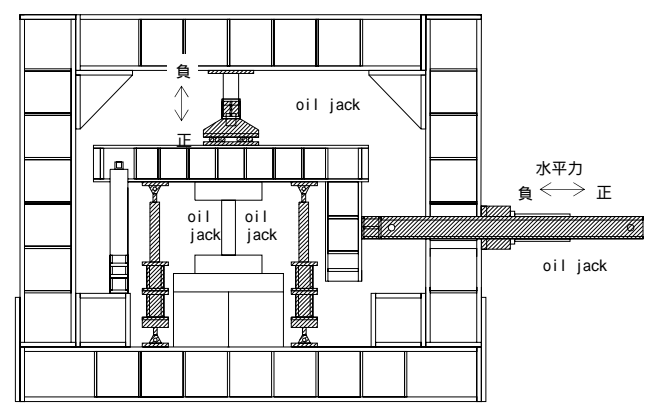


図 - 2 加力装置

## 3. 実験結果

### 3.1 破壊性状

実験により得られた試験体 8 の初期降伏荷重、座屈発生荷重、最大耐力、限界変形角を終局耐力計算値と共に表 - 5 に示す。なお、限界変形角はCFT構造で一般的に用いられる最大強度の 95%の強度点における値 ( $R_{0.95}$ ) とSRC、RC構造で用いられる最大強度の 80%の強度点における値 ( $R_{0.8}$ ) を、各々求めた。

試験体 8 は+1 サイクル (右下柱端部) - 5 サイクルで (左上柱端部) で鋼管が降伏し、±5 サイクルで正負ともに最大耐力に達した。

最大耐力に達した後、+5 サイクルで左側面上端部、右側面下端部に局部座屈が生じ、-5 サイクルで左下、右下端部に鋼管のコーナー部に亀裂を生じた。

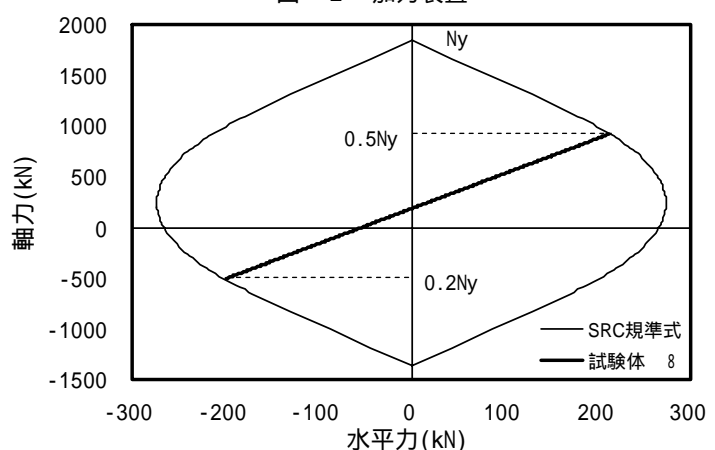


図 - 3 水平力 - 軸力関係

表 - 4 載荷履歴

サイクル	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9	±10
全体変形 (mm)	3	3	6	6	9	9	12	12	24	24
部材角 ( $\times 10^{-3}$ rad)	5	5	10	10	15	15	20	20	40	40

### 3.2 荷重 - 変形関係

8の水平力 - 部材角関係を図 - 4、 8、 5、 7の水平力 - 部材角関係の包絡線を図 - 5に示す。

8は±6サイクルまで紡錘形の履歴ループを示している。±7サイクル以後はスリップ型の挙動を示し、正側と負側で形の異なる非対称形の履歴ループとなっている。

8は正側において最大耐力に達した後、+9サイクルで最大耐力の85%、+10サイクルで79%、最終状態で69%に耐力が低下している。限界変形角の点から見ても、8は5よりもやや変形性能は低く、7よりも高いと言える。

負側においては、最大耐力に達した後、-9サイクルで最大耐力の20%、-10サイクルで15%に耐力が低下しており、限界変形角の点から見ても変形性能は5、7よりも低いと言える。

各変位振幅における2回目の繰り返しループに対する等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ を図 - 6に示す。8の $h_{eq}$ は正側と負側で大きく異なっている。正側は部材角 $R = 0.015\text{rad}$ まで直線的に増加しているが、その後増加率は減少し、 $R = 0.04\text{rad}$ では $R = 0.02\text{rad}$ の値を下回っている。一方、負側は直線的に増加している。

5および7と比較すると、試験体8の $h_{eq}$ の値は正側の $R = 0.04\text{rad}$ の値を除き、正側、負側共に5、8の値を上回っている。

### 4. 限界変形角についての分析

8と文献<sup>5),6)</sup>の実験資料一覧を表 - 6に示す。本研究のCFT試験体8と文献<sup>5),6)</sup>の角形CFT試験体8体、計9体を限界変形角 $R_{0.95}$ について分析した。

限界変形角とシアスパン比の関係を図 - 7に示す。正側、負側ともにシアスパン比が大きくなると、限界

表 - 5 実験結果と終局耐力計算値

		水平力 (kN)	部材角 ( $\times 10^{-2}\text{rad}$ )	サイクル
終局耐力計算値	正	213.0	-	-
	負	198.0	-	-
最大耐力	正	224.4	1.40	+5
	負	-217.1	-1.50	-5
初期降伏発生荷重	正	162.6	0.49	+1
	負	-184.3	0.48	-3
座屈発生荷重	正	164.4	3.61	+5
	負	-	-	-
限界変形角 $R_{0.8}$	正	179.5	4.00	-
	負	-174.2	-1.77	-
限界変形角 $R_{0.95}$	正	213.2	2.04	-
	負	-206.9	-1.56	-

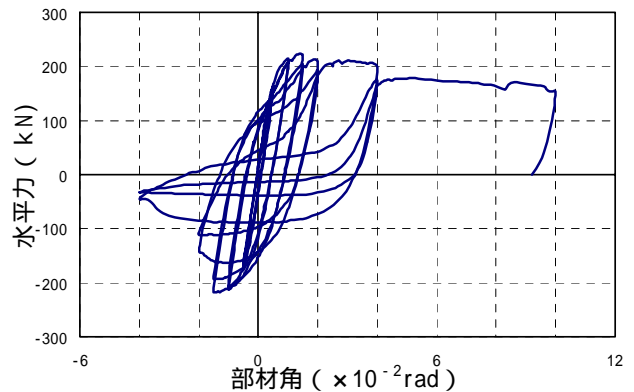


図 - 4 水平力 - 部材角関係

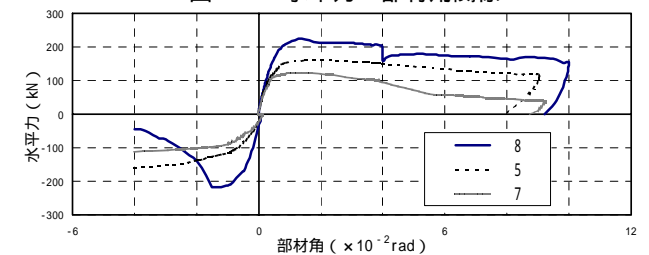


図 - 5 水平力 - 部材角関係包絡線

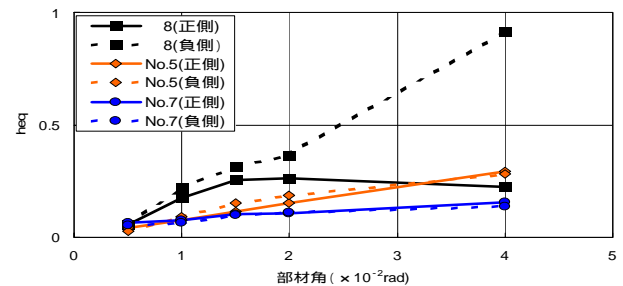


図 - 6 等価粘性定数  $h_{eq}$   
(各変位振幅における2回目の繰り返しループに対する値)

表 - 6 実験資料一覧

試験体名	試験体形状			材料性状			圧縮最大軸力比	引張最大軸力比	幅厚比 D / t	シアスパン比	実験結果		文献
	鋼管幅 D (mm)	鋼管厚 t (mm)	柱長 l (mm)	コンクリート強度 (Mpa)	鋼管強度						最大耐力 (kNm)	限界変形角 ( $\times 10^{-2}\text{rad}$ ) $R_{0.95}$	
					降伏強度 (Mpa)	引張強さ (Mpa)							
8	150	6.00	600	25.1	395	443	0.5	-0.28	25.0	2.00	224 -198	2.04 1.56	本研究
SR6-A-9-V	210	8.83	1262	91.7	536	673	0.7	-0.3	23.8	3.00	259 -302	2.00 1.66	[5]
SR6-C-9-V	212	5.95	1262	91.7	540	668	0.7	-0.3	35.6	2.98	163 -226	1.20 2.00	[5]
SR8-A-9-V	178	9.45	1079	94.5	824	864	0.7	-0.3	18.9	3.03	217 -280	2.07 2.00	[5]
SR8-C-9-V	180	6.66	1081	94.5	823	851	0.7	-0.3	27.0	3.00	146 -210	1.54 1.53	[5]
CFT45v/12-2	125	4.50	1400	39.2	3.31	-	0.5	-0.28	27.8	5.60	92 -75	2.86 2.86	[6]
CFT45v/6-3	125	4.50	1400	39.2	3.31	-	0.33	-0.03	27.8	5.60	106 -106	3.29 3.79	[6]
CFT60v/12-2	125	6.00	1400	39.2	3.62	-	0.5	-0.31	20.	5.60	80 76	3.36 3.21	[6]
CFT60v/6-3	125	6.00	1400	39.2	3.62	-	0.33	-0.05	20.8	5.60	137 -136	3.57 3.57	[6]

変形角が大きくなる傾向が見られ、試験体のシアスパン比が大きいほど変形性能が高いといえる。

限界変形角と軸力比の関係を図 - 8 に示す。正側は最大圧縮軸力比、負側は最大引張軸力比との関係を分析した。正側は最大圧縮軸力比が大きいほど、限界変形角が小さくなる傾向が見られる。負側も大きなばらつきがあるものの、最大引張軸力が大きくなるほど限界変形角が小さくなる傾向が見られる。よって、試験

体に作用する軸力比が大きいほど、変形性能が低いと言える。

限界変形角と幅厚比の関係を図 - 9 に示す。正側はじしりに限って見ると、幅厚比が大きいほど、限界変形角が小さくなっているが、正側、負側ともに全体的な傾向は見られない。幅厚比が限界変形角に与える影響は、シアスパン比、軸力比と比較して小さいと言える。

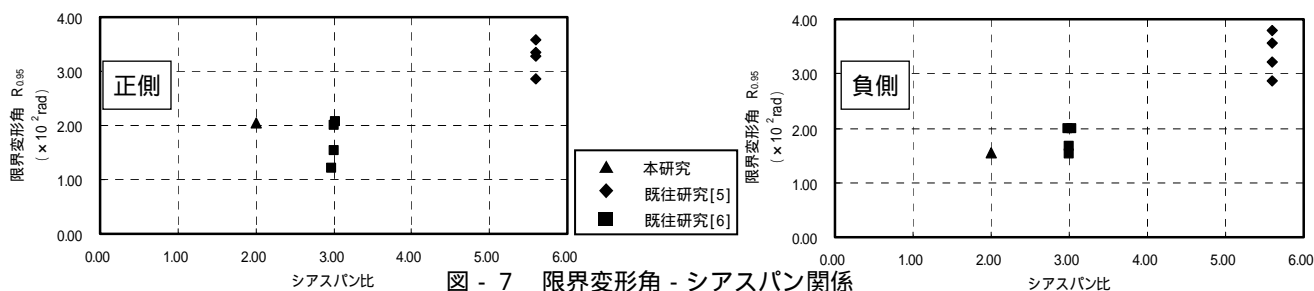


図 - 7 限界変形角 - シアスパン関係

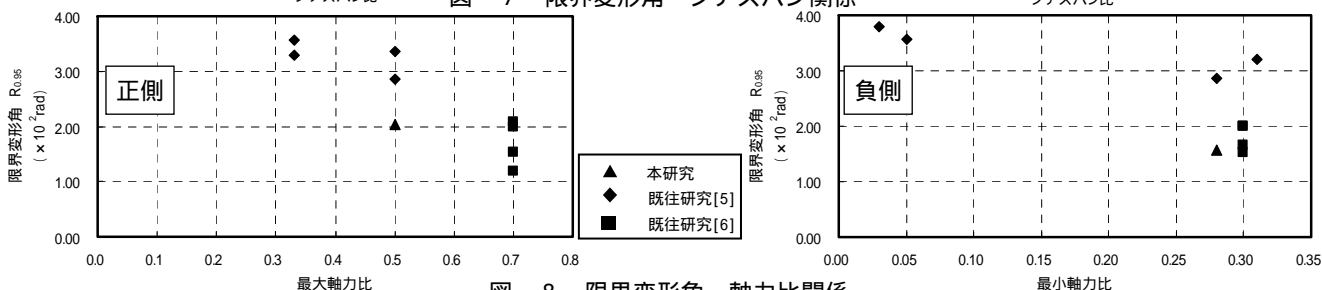


図 - 8 限界変形角 - 軸力比関係

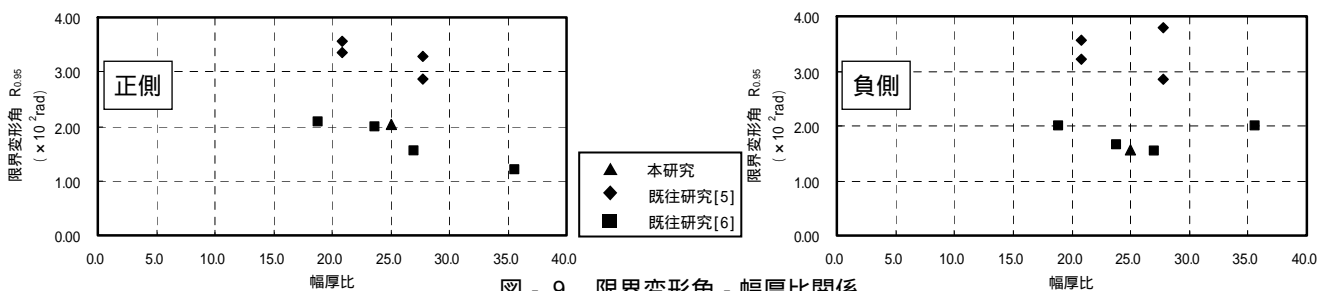


図 - 9 限界変形角 - 幅厚比関係

## 5. まとめ

地震時の中高層建物の外柱を想定した、変動軸力を受ける CFT 柱部材の静加力実験を行い、既往研究の SRC、RC 柱部材との比較を行なった。また、文献の CFT 柱部材を含めて、限界変形角について分析を行なった。

1) 最大耐力以後の耐力低下、限界変形角からみて、圧縮側において CFT 柱部材の変形性能は SRC 柱部材よりやや低く、RC 柱部材よりも高いと言える。また

### 【謝辞】

本研究は新潟大学技官南部正樹氏、多田克彦氏、同大学卒研究生（当時）関功氏らの協力を得て行ないました。ここに記して深く感謝します。

### 【参考文献】

- 1) 土井希祐, 片寄哲務. 変動軸力を受ける SRC 柱部材の静加力実験, 日本建築学会大会, C-1, p1089 - 1090, 2000 年
- 2) 片寄哲務, 土井希祐. 変動軸力と斜め応力を受ける SRC 柱部材の静加力実験, 日本建築学会大会, C-1, p1041 - 1042, 2001 年
- 3) 土井希祐. 大変動軸力を受ける SRC 柱部材の静加力実験, 日本建

築学会大会, C-1, p1003 - 1004, 2002 年

4) 稲田輝巳, 土井希祐. 変動軸力を受ける鋼コンクリート合成構造の変形性能とエネルギー吸収性能, 日本建築学会大会, C-1, p1041 - 1042, 2003 年

5) 甲斐誠ら. コンクリート充填鋼管柱の曲げせん断性状 その 4 ~ 7, 日本建築学会大会, C-1, p1029 - 1036, 1996 年

6) 浅井英克, 辻文三. 変動軸力を受けるコンクリート充填角形鋼管柱の弾塑性挙動 その 1~2, 日本建築学会大会, C-1, p1263 - 1036, 1999 年

7) 浅井英克, 辻文三. 変動軸力を受けるコンクリート充填角形鋼管柱の弾塑性挙動 その 1~2, 日本建築学会大会, C-1, p1263 - 1036, 1999 年

8) 浅井英克, 辻文三. 変動軸力を受けるコンクリート充填角形鋼管柱の弾塑性挙動 その 1~2, 日本建築学会大会, C-1, p1263 - 1036, 1999 年

9) 浅井英克, 辻文三. 変動軸力を受けるコンクリート充填角形鋼管柱の弾塑性挙動 その 1~2, 日本建築学会大会, C-1, p1263 - 1036, 1999 年

10) 浅井英克, 辻文三. 変動軸力を受けるコンクリート充填角形鋼管柱の弾塑性挙動 その 1~2, 日本建築学会大会, C-1, p1263 - 1036, 1999 年