

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 (その1 実験概要と実験結果)

正会員 ○ 尹 航*
同 福島 正樹*
同 村山 双美*
同 土井 希祐**

CFT 柱部材 変動軸力 変形性能
エネルギー吸収性能 限界変形角 等価粘性減衰定数

1. はじめに

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 (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、その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場合のものであり、変動軸力を受ける場合の研究は数が少ない。本実験ではCFT柱試験体を製作し、既報¹⁾と同条件の静加力実験を行い、変形性能とエネルギー吸収性能に関する基礎的データを取得するとともに、既報¹⁾の実験結果と比較することを目的とする。

2. 実験概要

各試験体の諸元を表1に、鋼材およびコンクリートの力学的性状を表2に、試験体外観図を図1に示す。本実験では幅厚比、およびシアスパン比をパラメータとした試験体 No.9、No.10 を製作した。

加力装置を図2に示す。L型フレームを介して、①のジャッキにより試験体に水平力を載荷する。②のジャッキは試験体に圧縮軸力を載荷するために用いる。③のジャッキは、試験体柱頭の回転を制御すると共に、試験体に引張軸力を載荷するためにも用いる。

載荷経路を図3に、載荷履歴を表3に示す。終局耐力はSRC規準²⁾に従って求めた。地震時に中高層建物の外柱は、転倒モーメントによる水平力に比例した変動軸力を受ける。そこで本実験では、地震時の下層階の外柱を想定し、各試験体に長期軸力に相当する $0.1N_y$ を載荷し、その後、式(1)、(2)に示す軸力比 $+0.5N_y \sim -0.3N_y$ の、水平力に比例した変動軸力を作用させ、断面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。

$$\text{No. 9: } N = 140.5 + 3.48 \times H \quad [\text{kN}] \quad \dots (1)$$

$$\text{No.10: } N = 140.5 + 6.96 \times H \quad [\text{kN}] \quad \dots (2)$$

ここに、N : 軸力 H : 水平力

水平力は圧縮軸力を受ける側を正とする。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

実験によって得られた各試験体の最大耐力等の実験値一覧を表4に示す。

No.9 は +1、-1 サイクル

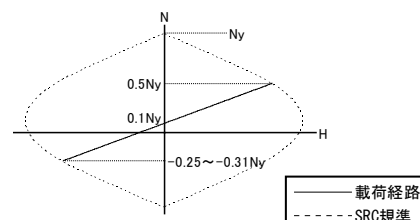


図3 載荷経路

表1 試験体諸元

試験体名	No.8 ¹⁾	No.9	No.10
鋼管	□-150×150×6 (STKR400)	□-150×150×4.5 (STKR400)	□-150×150×4.5 (STKR400)
柱内法高さ(mm)	600	600	1200
シアスパン比	2.00	2.00	4.00
幅厚比	25.0	33.3	33.3
鋼材断面積(mm ²)	3459	2619	2619
鋼材断面積比(%)	15.4	11.6	11.6

表2 鋼材およびコンクリートの力学的性状

試験体	鋼材			コンクリート			材齢 (日)
	$s\sigma_y$ (MPa)	$s\sigma_t$ (MPa)	E_s ($\times 10^5$ MPa)	$c\sigma_B$ (MPa)	$c\sigma_t$ (MPa)	E_c ($\times 10^4$ MPa)	
No.8	395	443	2.12	25.1	2.59	2.51	34
No.9	367	443	2.05	23.0	2.04	2.17	44
No.10	367	443	2.05	22.3	2.04	2.22	28

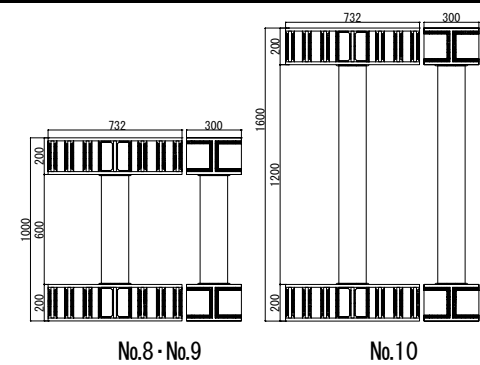


図1 試験体外観図

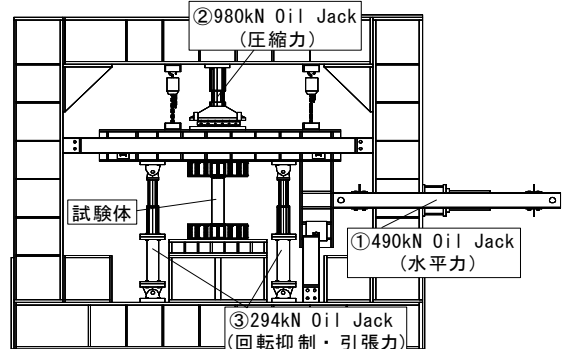


図2 加力装置
表3 載荷履歴

サイクル	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9	±10	+11
全体水平変形 No. 9 δ_n (mm)	±3	±3	±6	±6	±9	±9	±12	±12	±24	±24	+60
全体水平変形 No.10 δ_n (mm)	±6	±6	±12	±12	±18	±18	±24	±24	±48	±48	+120
目標部材角 R ($\times 10^{-2}$ rad)	±0.5	±0.5	±1.0	±1.0	±1.5	±1.5	±2.0	±2.0	±4.0	±4.0	+10

で鋼管が降伏し、正加力側は+3 サイクルで局部座屈が発生、+5 サイクルで最大耐力に達した。負加力側は-5 サイクルで鋼管コーナー部に亀裂が生じ、-9 サイクルで最大耐力に達した。

No.10 は-1、+3 サイクルで鋼管が降伏し、+5 サイクルで局部座屈が発生、正加力側の最大耐力に達した。続いて、-6 サイクルで鋼管コーナー部に亀裂が生じ、-9 サイクルで負加力側の最大耐力に達した。

No.8 は、最終状態で鋼管端部の亀裂が著しかった。No.9、No.10 は鋼管の亀裂は小さく、No.8 よりも局部座屈が卓越している。No.9、No.10 は鋼管厚が小さく、局部座屈が生じやすい。そのため、局部座屈発生箇所で塑性ヒンジが生じ、柱端部の応力が緩和され鋼管の破断が伸展しなかったと考えられる。逆に、鋼管厚が大きいNo.8 は局部座屈が起こりにくいため、材端部に大きな引張応力が作用し、鋼管平坦部の破断に至ったと考えられる。

3. 2 変形性能

図4に各試験体の水平力-部材角関係を示す。

No.8は、±7サイクル以後、正加力側において逆S字のループを描き、負加力側では鋼管の破断による耐力の低下が著しい。

No.9は、±6サイクル以後、正加力側においては逆S字のループを示している。負加力側では耐力の低下がほとんど見られず、正加力側と負加力側で非対称な履歴ループとなっている。

No.10は、±9サイクル以降、正加力側で逆S字の履歴ループを描いている。負加力側では耐力の低下が見られず、正

加力側、負加力側で非対称な履歴ループとなっている。

耐力の低下について、R=0.1radまで実験を行ったNo.8とNo.9を比較すると、R=0.025rad以降、No.8が常にNo.9の値を上回っていた。これは、局部座屈の影響によりNo.9の方が圧縮側の耐力低下が早いと考えられる。

限界変形角 $R_{0.95}$ （最大耐力の95%に耐力が低下したときの部材角）について比較すると、変形性能に大きな差はなかった。

3. 3 エネルギー吸収性能

エネルギー吸収性能の指標となる等価粘性減衰定数 heq の比較を行った。図5にNo.8、No.9、No.10の heq を示す。

heq の値は正加力側、負加力側共に、 $R=2.00 \times 10^{-2} \text{rad}$ まではほぼ同程度の値となった。そして、 $R=4.00 \times 10^{-2} \text{rad}$ で、No.8のみ heq の低下が見られた。これは、鋼管平坦部が破断したことで急激な耐力低下が起こり、履歴ループ面積が小さくなったためだと考えられる。

4. まとめ

地震時の中高層建物の下層階外柱を想定した変動軸力を受けるCFT柱の静加力実験を行い、以下の知見を得た。

限界変形角から見て、幅厚比・シアスパン比が変形性能に及ぼす影響は小さかった。

等価粘性減衰定数 heq に大きな差が見られなかったことから、幅厚比、シアスパン比がエネルギー吸収性能に及ぼす影響は小さいといえる。ただし、大変形による鋼管の破断により、変形性能・エネルギー吸収性能が大きく低下する場合がある。

【参考文献】(その2)に示す

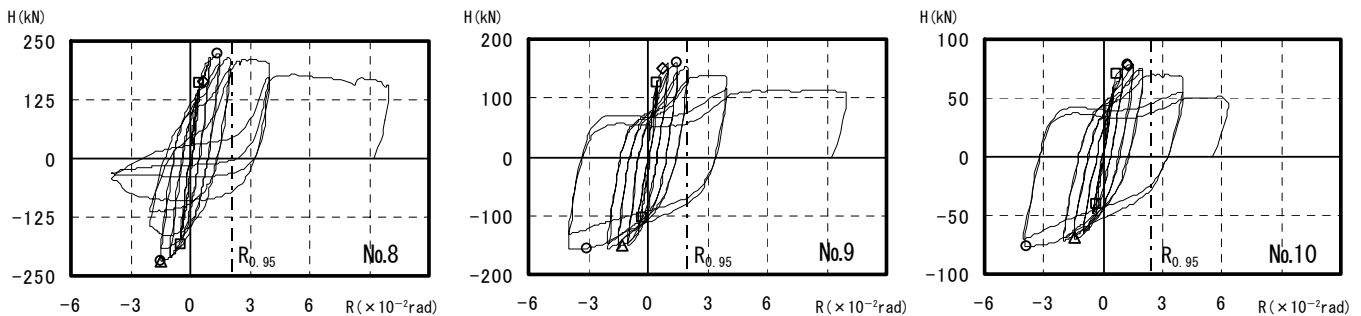


図4 水平力-部材角関係

表4 実験値一覧

試験体名	水平力(kN)			変形($\times 10^{-2}$ rad)[サイクル]			
	No.8	No.9	No.10	No.8	No.9	No.10	
終局耐力計算値	正	213.0	162.2	80.7	-	-	-
	負	-198.0	-143.0	-71.7	-	-	-
最大耐力	正	224.4	160.7	77.9	1.40[+5]	1.50[+5]	1.25[+5]
	負	-217.1	-156.6	-76.7	-1.50[-5]	-3.02[-9]	-3.84[-9]
初期降伏発生	正	161.6	124.5	69.8	0.49[+1]	0.46[+1]	0.67[+3]
	負	-184.3	-103.3	-41.3	-0.48[-3]	-0.32[-1]	-0.38[-1]
局部座屈発生		164.4	149.5	77.9	0.60[+5]	0.73[+3]	1.25[+5]
鋼管亀裂発生		-217.1	-149.9	-69.1	-1.50[+5]	-1.26[-5]	-1.50[-6]
限界変形点 $R_{0.95}$	正	213.2	152.7	74.0	2.04	1.90	2.36
	負	-206.9	-148.8	-72.9	1.56	-	-

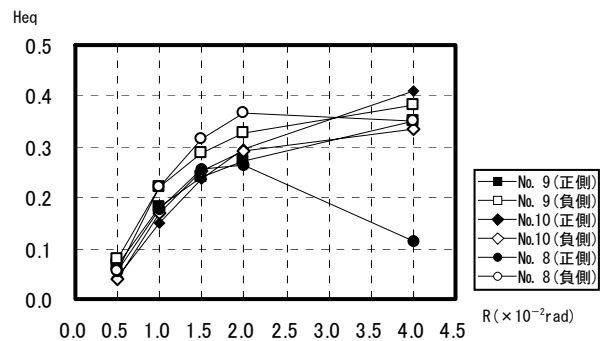


図5 等価粘性減衰定数 heq

* 新潟大学大学院自然科学研究科

** 新潟大学工学部建設学科 教授・博(工)

* Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ.

** Prof., Dept. of Arch. and Civil Eng., Niigata Univ., Dr. Eng.