(41) 多数回繰返し載荷を受ける円形CFT柱の曲げせん断実験

久島 俊也¹·城戸 將江²·阿部 真士³

¹正会員 北九州市立大学大学院 環境工学専攻建築デザインコース (〒808-0135 福岡県北九州市) E-mail: b0mbb022@eng.kitakyu-u.ac.jp

²正会員 北九州市立大学 国際環境工学部准教授(〒808-0135 福岡県北九州市) E-mail: kido-m@kitakyu-u.ac.jp

³正会員 北九州市立大学大学院 環境工学専攻建築デザインコース (〒808-0135 福岡県北九州市) E-mail: c1mbb002@eng.kitakyu-u.ac.jp

現在、南海トラフを震源域とした巨大地震の発生による、固有周期の長い超高層建物などへの影響が懸 念されており、長時間多数回繰り返し水平力を受けるCFT柱の安全性検証法を確立する必要がある.本研 究は、一定軸力を受ける円形CFT柱が、一定変位振幅および変動変位振幅で繰返し載荷を受ける際の挙動 を明らかにすることを目的とした.座屈長さ・断面せい比l_k/D=14の円形CFTで、一定軸力と水平力が作 用している片持ち柱を想定し曲げせん断実験を行った.実験変数は、軸力比、振幅ならびに振幅の組合せ、 載荷プログラムである.試験体数は5体であり、一定変位振幅が2体、変動変位振幅が3体である.水平力 -部材角関係、軸ひずみ-部材角関係、多数回繰返し特性、限界繰返し回数に関する検討を行った.

Key Words : steel-concrete composite structure, long-period ground motion, fatigue, cyclic behavior, slender column

1. はじめに

現在,南海トラフを震源域とした巨大地震の発生によ る固有周期の長い超高層建物への影響が懸念されている. コンクリート充填鋼管柱(以後CFT柱)は超高層事務所 建築物に使われることが多く,長時間多数回繰返し水平 力を受けるCFT柱の疲労特性について明らかにする必要 がある.長周期地震動に対するCFT柱に関する研究とし て,国土交通省建築基準整備促進事業「長周期地震動に 対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全に関する検討¹⁾」 や日本鋼構造協会「長周期地震動に対する柱部材(CFT 柱,鉄骨柱)の保有性能に関する調査研究²³⁾」がある. 一定軸力下,変動軸力下における,一定変位振幅多数回 繰返し載荷が行われ,角形CFT柱については,多くの実 験資料が蓄積され,軸力比や振幅などが耐力劣化挙動に 及ぼす影響が明らかになりつつある.

また,耐力劣化挙動を表す指標として,最大荷重の絶 対値がそれぞれ95%,90%,85%,80%に低下した時のサ イクル数である限界繰り返し回数があり³,文献4)では 実験結果に基づき,部材角,座屈長さ・断面せい比,軸 力比,幅厚比など複数の因子を考慮できる角形CFT柱の 限界繰り返し回数評価式の構築が行われ,既往の漸増繰 返し実験結果を用いた検討では,評価式により累積損傷 値をほぼ評価できることが示されている.実際の地震時 は、一定変位振幅ではなく変動変位振幅を受け、特に長 周期地震動を受ける場合は、振幅が漸増するのではなく 比較的小さな振幅で多数回繰返し載荷を受ける.このこ とから、基準整備促進事業S29「長周期地震動に対する 超高層鉄骨造の安全性検証法に関する検討」において、 変動変位振幅繰返し載荷を受ける角形CFT柱の曲げせん 断実験が行われ、基本的な構造性能が示されるとともに、 累積損傷則の検討がなされている⁵⁻⁷.このように、系 統的な実験資料の蓄積に基づき、角形CFT柱が多数回繰 返し載荷を受ける場合の疲労特性評価法が構築されつつ ある.

一方,円形CFT柱においても,一定変位振幅繰返し載 荷実験が行われているものの⁸⁻¹⁰,角形CFT柱に比較し て試験体数が少なく,実験変数が限られているため,多 数回繰返し水平力を受ける円形CFT柱の疲労特性評価法 の提案にはさらなる実験資料の蓄積が必要である.

以上のことから、本研究では、既往の研究⁸⁻¹⁰と同じ 座屈長さ・断面せい比*4D*=14の円形CFT柱が一定軸力 下で一定変位振幅および変動変位振幅で繰返し載荷を受 ける、曲げせん断実験を行った.本研究の目的は、1)一 定変位振幅繰返し載荷実験を行うことにより、軸力比 0.7という高軸力下における構造性能を示すこと、また、



図-3 試験体

既往の軸力比m=0.3の研究を補完し、部材角と限界繰り 返し回数の関係を回帰式にて示すこと、2)変動変位振幅 繰返し載荷実験により、振幅の組み合わせの違いによる 構造性能への影響を明らかにし、耐力劣化挙動を示すこ と、3)回帰式を用いて、変動変位振幅繰返し載荷の耐力 劣化挙動を予測できるか累積損傷則を用いて検討するこ とである.

2. 実験概要

(1) 実験計画

図-1に示すように、一定軸力Nと水平力Qが作用して いる片持ち柱を想定し曲げせん断実験を行った.実験変 数は、1)軸力比n (= $NN_0, N_0 = A \cdot s\sigma_t + A \cdot c\sigma_0, sA, sA : 鋼$ 管、コンクリートの断面積、 $s\sigma_t : 鋼管の降伏応力度, c\sigma_t : コンクリートの圧縮強度)、2)振幅Rならびに振幅$ の組合せ、3)載荷プログラム(一定変位振幅、変動変位振幅)である.表-1に試験体一覧を示す.試験体数は5体であり、一定変位振幅が2体、変動変位振幅が3体である.

変動変位振幅の載荷プログラムについては、図-2に示

すように振幅の値を4レベルとし、同一振幅での繰返し は行わず1回とし、最小振幅から開始し、順に振幅を増 加させ、最大振幅後は順に振幅を減少させることとした. 1ブロックの繰返し回数は6である.表-1中に各振幅の値 を示している.

(2) 試験体

試験体の形状・寸法を図-3に、鋼管の実測寸法を表-2 に示す.試験体には、○-165.2×4.5の円形鋼管STK400を 使用した.試験体の長さLはベースプレート上端からピ ン位置まで1156.4mmであり、座屈長さ・断面せい比は *kD*=14である.鋼管の自由端側には厚さ40mmのエンド プレート、固定端側には厚さ60mmのベースプレートを 溶接した.コンクリートの充填は試験体上部にあるコン クリートの注入口より行い、エンドプレート端面と充填 コンクリートが同一面になるようキャッピングを施した.

(3) 材料特性

材料特性を調べるため、鋼材の引張試験、コンクリー ト圧縮試験および短柱圧縮試験を行った.引張試験は、 鋼管より切り出したJIS12号試験片3片で行った.引張試 験の結果を表-3に、引張試験による代表的な応力--ひず



鋼管実測寸法

断面積A

径厚比

表-2

板厚 t

径D



図-6 短柱圧縮試験の荷重P-軸ひずみを関係

み関係を図4に示す.降伏応力度。のは,0.2%オフセット 法にて求めた.

コンクリートの調合を表-4に示す.スランプフローの 実測値は48.8×47.3cmであった.コンクリート圧縮強度を 表-1に,代表的な応力-ひずみ関係を図-5に示す.

短柱圧縮試験は、中空鋼管4体、CFT2体に対して行った.図-6に短柱圧縮試験の荷重Pー軸ひずみ ϵ 関係を示す. 中空試験体およびCFT試験体は図-6に示すようにそれぞれの試験体の最大荷重はほぼ同じ(中空:911,914,916,917kN,CFT:2385,2376kN)であった.中空の場合は降伏軸力 N_{2} ($A \cdot s\sigma_{2}$ =831kN)よりやや高く、CFTの場合は圧縮強度 N_{0} (=2356kN)とほぼ同じ値であった.

(4) 実験方法

加力装置を図-7に示す.図に示すように水平方向に軸 力載荷の1500kNの油圧ジャッキを、鉛直方向に水平力 載荷の500kNの油圧ジャッキを取り付け、どちらもロー ドセルにて荷重の測定を行った.載荷は、まず一定軸力



図-7 加力装置

表-5 実験結果

No.	試験体名	繰返し回数	Qmax,Qmin (kN)		M _{px} (kN∙m)	M _{max} (kN∙m)
1	I D14n20D125	160	正	42.4	62.8	58.1
1	I LD14IB0K123	100	負	-41.5	05.0	-57.0
2	LD14=70D1	57	Æ	31.2	43.1	53.1
2	LD1411/0K1	51	負	-28.5		-49.2
2	I D14-20D-1	150	······································	64.1		
3	LD14n30KV1	150	負	-46.5	08.4	-66.0
4	I D14=20D-2	150	Æ	43.3	67.6	62.7
4	LD141150KV2	150	負	-46.8	07.0	-66.8
5	I D14-20D-2	150	Æ	42.6	69.2	63.5
2	LD14n30RV3	150	負	-47.7	08.2	-68.2

を与えたのち、水平力を加える.また、構面外変位の発 生を防止するため、構面外変位拘束治具を設けている.

ー定振幅においては、160サイクルを限度とし、変動 変位振幅においては、振幅の値を4レベルとし、各振幅1 回ずつの繰返し載荷とし、繰返し回数が150サイクル (25ブロック)を限度として載荷を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 水平力Q一部材角R関係

表-5に実験結果を示す.表中の Q_{max} は正側の最大荷重, Q_{min} は負側の最大荷重を示す. M_{pc} は全塑性モーメントの 計算値, M_{max} は柱脚の最大曲げモーメントを示す.図-8 に,水平力Q-部材角R関係を示す.図中の Δ 印は最大 荷重を示す.また,四角で囲んだサイクル数で繰返して いる.図中の点線は計算により求めた塑性崩壊機構直線 を示している.

a) 一定変位振幅の場合

図-8(a), (b)はn=0.3, R=1.25%およびn=0.7, R=1%の場合を示している.図-8(a)の試験体(n=0.3, R=1.25%)は全塑性モーメントに到達していないが,図-8(b)の試験体(n=0.7, R=1%)は全塑性モーメントに到達していた.



n=0.3, R=1.25%の試験体では、最大荷重到達後、徐々に荷重が低下していることが観察される.また、軸力比 n=0.7の場合は最大荷重到達後、荷重が低下しているが、 正側のほうが荷重の低下が大きく、正側と負側で荷重の 低下が非対称となっていることが観察される.

b) 変動変位振幅の場合

図-8(c), (d)と(e)の正側は全塑性モーメントに到達して いなかったが、図-8(e)の試験体の負側のみ全塑性モーメ ントに到達していた.図(c)、図(d)、図(e)の試験体を比較 すると振幅の組合せが異なるが、図(c)、図(d)の荷重の低 下の様子に大きな差はみられず、図(e)は図(c)、図(d)と比 較すると荷重の低下は大きかった.

(2) 軸ひずみε-部材角R関係

図-9に軸ひずみ-部材角関係を示す.軸ひずみは、実験時に変位計により計測した軸縮み量を試験体のベース プレート上端からエンドプレート下端までの距離で除し て求めた.本研究では、加力したときに圧縮(引張)と なる面(図-3において上下)をフランジ、側面をウェブ とする.図-9中に矢印で局部座屈発生点を示す.Fはフ ランジ面、Wはウェブ面で局部座屈が発生したことを示 している.また、+は正側、-は負側で発生したことを示 しており、発生した時のサイクル数は図中のF、Wの横



図-9 軸ひずみ-部材角関係

表-6 局部座屈発生時のサイクル数

No.	試験体名	フランジ	ウェブ
1	LD14n30R125	1回正側	13回正側
2	LD14n70R1	1回正側	2回正側
3	LD14n30Rv1	4回正側	15回正側
4	LD14n30Rv2	1回正側	28回負側
5	LD14n30Rv3	2回正側	10回負側

に示している.表-6に局部座屈発生時のサイクル数をま とめたものを示している.

図-9(a), (b)によれば、軸力比n =0.3の場合では、軸ひず みは最大で0.12%程度、n =0.7では1.96%程度となってい る.また、軸力比n =0.7の場合、軸ひずみが0.8%あたり から急速に軸縮み量が増加していることが観察される. 図-9 (c), (d), (e)によると、最大振幅の大きいLD14n30Rv3試 験体の方が軸ひずみ量が大きい.

(3) 耐力劣化挙動

a) 一定変位振幅の場合

図-10に一定変位振幅におけるピーク荷重(変位反転 点における*i*サイクル時の水平力*Q*)の推移を示す.*Q*は 水平力の最大値*Q*_{nax}で無次元化している.図-10(a),(b)は それぞれ*n*=0.3,*R*=1.25%,*n*=0.7,*R*=1%の場合を示して いる.図-10(c)は,*n*=0.3の場合について既往の研究⁸⁻¹⁰と の比較のために示している.



図-11 ピーク荷重の推移(変動変位振幅の場合)

図-10(a)によればn=0.3, R=1.25%の場合, 緩やかに荷 重が低下している.一方,図-10(b)において,n=0.7, R =1%の場合,正側では,耐力が5サイクル目あたりから 低下しているのに対し,負側では43サイクルまで荷重が 増加し,その後耐力が低下するという傾向がみられた.

また,図-10(c)によれば,本研究で行った*n*=0.3,*R*=1.25%は,既往の研究⁸⁻¹⁰で行った*n*=0.3の*R*=1%,1.5%のおおむね中間的な傾向を示している.

b) 変動変位振幅の場合

図-11に変動変位振幅におけるピーク荷重の推移を示 す.図-2の載荷プログラムで示したように、変位振幅は

表-7 限界繰返し回数 (一定変位振幅)

No.	試験体名		N95%	N90%	N85%	N80%
1	LD1420D125	正	16	34	77	155
	LD14-n50K125	負	9	24	48	82
2	LD14-n70R1	正	18	32	38	42
		負	\mathbb{X}^1	47	51	53
3	LD14-n30R1 ^{8~10)}	正	36	123	200+	₩2
		負	29	111	200+	₩2
4	LD14-n30R15 ^{8~10)}	E	5	12	23	54
		負	2	8	14	24

※1試験体 No.②は負側の最大耐力は変位反転点ではなく、変位反転点に 向かう途中で発生していたため Newが存在しない.

※2試験体No③は荷重が低下する前に200サイクルで試験を終了したこと を示す



4段階に設定しているが,最大振幅のみを示している. 図-11(a), (b), (c) によれば,3体とも徐々に荷重が低下する 傾向がみられたが,これは一定変位振幅である試験体 (図-10(c)) と同様な傾向であった.

また,LD14n30Rv1試験体(図-11(a))に比べLD14n30Rv3 試験体(図-11(c))の方が荷重の低下が大きいことから, 変動変位振幅の最大振幅のみが異なる場合,最大振幅が 大きい方が荷重の低下が大きい.

(4) 限界繰返し回数に関する検討

a) 限界繰返し回数と部材角の関係

正側, 負側の最大荷重の絶対値がそれぞれ95%, 90%, 85%, 80%に低下した時のサイクル数を限界繰返し回数 と呼び, N_{9%}, N_{90%}, N_{85%}, N_{90%}と表す.表-7に限界繰返 し回数を示す.表中の試験体No.①, ②は本研究, 試験 体No.③, ④は既往の研究⁸⁻¹⁰によるものである.本研究 の試験体No.①, ②の正側のN_{95%}, N_{90%}は,軸力比,振幅 は異なるもののほぼ同じサイクル数で, N_{85%}以降では試 験体No.②の方が限界繰返し回数が少なくなっていた.

軸力比n=0.3の試験体(①,③,④)を比較すると正 側,負側とも振幅が大きくなるにつれて限界繰返し回数 が少なくなる傾向がみられた.また,振幅が1%の試験 体(②,③)を比較すると正側,負側とも軸力が大きい 試験体の方が繰返し回数が少なくなっていることが分か る.

表-8 限界繰返し回数 回帰分析結果 (n=0.3)

	Ē	側	負側		
	С	α	С	α	
N95%	2.108	-0.202	1.687	-0.150	
N90%	2.308	-0.174	2.051	-0.153	
N85%	2.407	-0.151	2.217	-0.148	
N80%	2.990	-0.173	2.404	-0.148	

図-12に軸力比n =0.3の一定変位振幅の場合の部材角と 限界繰返し回数N95%, N90%, N85%, N80%の関係を対数軸上 に示す.図(a),図(b)はそれぞれ正側,負側の場合を示し ている.また,R=1%のN85%, N80%は表-7に200+と示すよ うに,200サイクル繰返しても最大荷重の85%まで耐力 が低下しなかったため,図-12(a),(b)にはプロットしてい ない.図によれば,N95%,N90%は部材角と限界繰返し回 数の関係は対数軸上においてほぼ線形的な関係となって いることがわかる.そこで,限界繰返し回数を予測する ための回帰式を次の形式にて求めた.

$$R = C \cdot N^{\alpha} \tag{1}$$

*R*は部材角,*N*は限界繰返し回数,*C*,αは係数である. 回帰分析により求めた*C*,αの値を表-8に示す.図-12に 回帰式を示している.

b) 変動変位振幅の場合の限界繰返し回数

正側, 負側の各振幅における最大荷重の絶対値がそれ ぞれ95%, 90%, 85%, 80%に低下した時のブロック数を 限界ブロック数と呼び, B99%, B90%, B80%と表す. 表-9に,実験で得られた最大振幅と2番目に大きな振幅 における限界ブロック数を示す.表-9より,各試験体に おいて,最大振幅における限界ブロック数の方が2番目 の振幅における限界ブロック数よりも大きい.

ここで、一定変位振幅繰返し載荷における限界繰返し 回数を用いて、変動変位振幅繰返し載荷の限界ブロック 数を予測できるか試みる. 文献4)と同様に線形累積損傷 則である式(2)により累積損傷値Dを求める.

$$D = \sum_{i=1}^{4} \frac{N_i}{N} \tag{2}$$

N_iは各振幅における繰返し回数であり,各振幅のサイクル数Nは式(1)で求めた計算値を用いた. LD14n30Rv1 試験体は,振幅の組合わせが R=0.75, 1, 1.2, 1.5%であり,式(1)より各振幅のN_{5%}を算定し,小数点以下を四捨 五入すると,それぞれ167,40,13,5サイクルとなる. 本研究の載荷プログラムでは,1ブロック内でR=0.75, 1.5%は1サイクル,1,1.25%は2サイクル繰り返すので, D=1となるときのLD14n30Rv1試験体の限界ブロック数 cuBog%を次式から求めた.

$$D = B\left(\frac{1}{167} + \frac{2}{40} + \frac{2}{13} + \frac{1}{5}\right) = 1$$
 (3)

表-9 限界ブロック数(実験値)

No.	試験体名	振幅 (%)		B95%	B90%	B85%	B80%
	LD14n30Rv1	1.25	Æ	5	10	21	25+**2
2			負	1	3	7	15
3		1.5	正	7	12	23	25+**2
			負	3	5	11	20
	LD14n30Rv2	1.33	正	3	7	12	19
4			負	3	5	8	17
4		1.5	正	5	8	13	20
			負	4	6	11	23
5	LD14n30Rv3	1.05	Æ	2	3	6	10
		1.23	負	₩1	1	4	8
		1 75	Ē	4	6	10	15
		1.75	負	4	6	11	21

※「試験体 No.5 の1.25%の負側において、1 ブロック目に最大荷重の 90%に低下したため B_{39%}が存在しない.

※2表中の25+の表記は、荷重が低下する前に25ブロックで試験を終 了したことを示す

表-10 限界ブロック数(計算値)

No.	試験体名		calB95%	calB90%	$_{cal}B_{85\%}$	$_{cal}B_{80\%}$
3	LD14n30Rv1	正	2.6	6.3	13	28
		負	1.3	4.4	8.1	14
4 LE	LD14-20D-2	正	1.9	4.6	9.8	15
	LD14150Kv2	負	0.9	3.3	6.0	10
5	LD14n30Rv3	正	1.7	3.6	6.5	16
		負	0.6	2.2	3.9	6.8

	2000				Call 95/0/	
試験体名	振 幅 (%)		B95%/ calB95%	B90%/ calB90%	B85%/ calB85%	B80%/ calB80%
	1.05	正	2.0	1.6	1.6	₩2
I D14.,20D.,1	1.23	負	0.80	0.68	0.86	1.1
LD141150Kv1	1.5	正	2.7	1.9	1.7	₩2
		負	2.4	1.1	1.4	1.4
	1.33	正	1.6	1.5	1.2	1.3
LD14-20D-2		負	3.2	1.5	1.3	1.7
LD14n50Kv2	1.5	正	2.6	1.7	1.3	1.3
		負	4.3	1.8	1.8	2.2
	1.25	正	1.2	0.84	0.92	0.62
I D14-20D-2	1.25	負	₩1	0.45	1.0	1.2
LD14030KV3	1 75	正	2.4	1.7	1.5	0.93
	1./5	負	6.5	2.7	2.8	3.1

表-11 実験値と計算値の比(B95%/alB95%)

※1実験値Boggが存在しないため計算していない.

※2荷重が低下する前に 25 ブロックで試験を終了したため実験値が存在 しないため計算していない.

表-10に各試験体の各振幅におけるD=1となるときの ブロック数 $caB_{95\%}$, $caB_{90\%}$, $caB_{85\%}$, $caB_{80\%}$, (計算値)を 示す.表-11に実験値による限界ブロック数と計算値に よる限界ブロック数の比($B_{95\%}/caB_{95\%}$, $B_{90\%}/caB_{90\%}$, $B_{80\%}/caB_{95\%}$, $B_{80\%}/caB_{95\%}$, $B_{80\%}/caB_{80\%}$)を示す.表-11より,LD14n30Rv1試験 体では,R=1.25%の負側において実験値と計算値の比が 最も小さく,その時の値は 0.68 ~ 1.1 である. LD14n30Rv2 試験体では、R=1.33%の正側において実験 値と計算値の比は最も小さく、その時の値は 1.2~1.6 で ある. LD14n30Rv3 試験体では、R=1.25%の負側におい て実験値と計算値の比は最も小さく、その時の値は 0.45 ~1.2 である.また、表-11 によると、変動変位振幅の最 大振幅における実験値と計算値の比は LD14n30Rv3 の R=1.75の正側の $_{ca}B_{80\%}/B_{80\%}$ を除くとすべて1以上であり、 計算値が実験値を過小評価している.

4. まとめ

座屈長さ・断面せい比 μ D=14の円形CFTで,一定変 位振幅および変動変位振幅で繰返し載荷を受ける際の挙 動を明らかにすることを目的とし,曲げせん断実験を行 い,一定変位振幅および変動変位振幅における水平力Q一部材角 R 関係,軸ひずみ ε 一部材角 R 関係,耐力劣化 挙動について示した.得られた知見は次の通りである.

- (1) 軸力比 n=0.7 の場合は最大荷重到達後,荷重が低下 しているが,正側のほうが荷重の低下が大きく,正 側と負側で荷重の低下が非対称となっていた.
- (2) 既往の一定変位振幅繰返し載荷の実験も含めた軸力 比 n=0.3 の場合において,限界繰返し回数は部材角 が大きくなるにつれ小さくなり,部材角と限界繰返 し回数の関係は,対数軸上において線形的となって いた.
- (3)一定変位振幅繰返し載荷における限界繰返し回数を 用いて、変動変位振幅繰返し載荷の限界ブロック数 を予測できるか試みた.また、累積損傷則から変動 変位振幅における限界繰返し回数を求め実験値との 比較を行った.

本研究では、一定軸力下における実験を行ったが、隅 柱、側柱などでは変動軸力を受ける。角形CFT柱では変 動軸力の実験も行われているが^{例えば、11)}、円形CFTは行わ れておらず今後の課題である。今回変動軸力のパイロッ トテストを実施したので付録に示す。

謝辞:本研究は科研費(課題番号19K04715)の助成を受けたものである.実験の遂行に当たり,北九州市立大学構造・施工講座の協力を得た,関係各位に感謝します.

参考文献

- 1) 建築研究所,長周期地震動に対する超高層鉄骨建築物の耐震 安全に関する検討,建築研究資料,No.160,2014.7
- 2)城戸將江,津田惠吾,福元敏之,一戸康生,森田耕次:一定 変位振幅繰返し載荷を受ける角形CFT柱の構造性能,日本建 築学会構造,日本建築学会構造系論文集,第84巻,第759号, pp.725-735,2019.5
- 3) 城戸將江, 津田惠吾, 福元敏之, 一戸康生, 森田耕次: 一

定変位振幅繰返し載荷を受ける角形 CFT 柱の限界繰返し回数,日本建築学会構造系論文集,第85巻,第773号,pp.981-991,2020.7

- 4) 福元敏之,森田耕次,津田惠吾,城戸將江,一戸康生:定変 位振幅繰返し載荷に於けるコンクリート充填角形鋼管柱の 繰返し特性,鋼構造論文集,第28巻,第110号,pp73-82, 2021.6
- 5) 久島俊也,城戸將江,薄拓己,崔剛,長谷川隆:変動変位振 幅を受ける角形CFT柱の曲げせん断実験(*WD*=10の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),構造Ⅲ, pp.1219-1220, 2020.7
- 6)薄拓己,城戸將江,久島俊也,長谷川隆:変動変位振幅を受ける角形CFT柱の構造性能に関する研究,その1実験概要および水平力-部材角関係,日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海),構造III,pp.1275-1276,2021.7
- 7) 久島俊也,城戸將江,薄拓己,長谷川隆:変動変位振幅を受ける角形 CFT 柱の構造性能に関する研究,その2 耐力劣化性状,日本建築学会大会学術講演梗概集(東海),構造Ⅲ, pp.1277-1278, 2021.7
- 8) 城崎康太,城戸將江,藤岡大二郎,宇津宮遥奈,津田惠吾: 一定変位振幅繰返し載荷を受ける円形CFT長柱の耐力劣化性 状に関する研究,その1実験概要(μ/D=14の場合),日本建 築学会大会学術講演梗概集(東北),構造 Ⅲ, pp.1433-1434, 2018.7
- 9)藤岡大二郎,城戸將江,城崎康太,宇津宮遥奈,津田惠吾: 一定変位振幅繰返し載荷を受ける円形CFT長柱の耐力劣化性 状に関する研究,その2実験結果(¼D=14の場合),日本建 築学会大会学術講演梗概集(東北),構造 Ⅲ,pp.1435-1436, 2018.7
- 10) 崔剛,城戸將江,藤岡大二郎,城崎康太,津田恵吾:一定 変位振幅繰返し載荷を受ける円形 CFT 長柱の耐力劣化性状に 関する研究,その3実験結果-多数回繰返し特性(*l*₄*D*=14の 場合),日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸),構造 III, pp.1341-1342,2019.7
- 上瀧敬太,澤本佳和,福元敏之,長谷川隆:変動軸力を受ける角形CFT 柱部材の繰り返し性状に関する実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(東海),構造III, pp.849-850,2021.7

付録

変動軸力の実験結果について示す.実験計画ならびに、 試験体、材料特性は本論と同様である.試験体のパラメ ータを付表-1に示す.

載荷プログラムは、付図-1に示すように、変位0にお ける軸力比を0.3 (*N*=700kN)とし、正側の反転点で最大 の軸力比0.6 (1400kN),負側の反転点で最小の軸力比0 (0kN)になるように載荷を行った.繰返し回数は10サ イクルである.

付表-1 試験体

試験体名	軸力比 <i>n</i>	振幅 <i>R</i> (%)	コンクリート 強度 _c の _b (N/mm ²)	軸力 N (kN)
LD14n0-60R15	0-0.6	1.5	80.10	0-1400



付図-1 変動軸力載荷プログラム

付図-2に水平力 Q-部材角 R 関係を示す. 図中の△印 は最大荷重を示す. 図(a)に示す 1~3 サイクル目までは, 軸力ジャッキの制御トラブルのため, 1 サイクル目は R=1.5%まで載荷できず, 2 サイクル目, 3 サイクル目も 正側では変位反転点近傍で所定の軸力よりもやや小さい 軸力となってしまった. 図によれば, 2 サイクル目正側 で水平力が大きく低下していることが観察される. 図 (b)に示す 4 サイクル目以降では載荷プログラム通りの変 動軸力による載荷を行うことができた.

図(b)によれば、正側は最大荷重(図(a)△印)より耐力



は大きく低下しているが、その後の耐力低下は緩やかで ある.また、変位反転点で軸力が0となる負側ではほと んど耐力が低下していない.変動軸力を受ける場合、履 歴ループは紡錘形となっているものの軸力が高いほうの、 初期における水平力の低下は著しく、今後、変動軸力の 実験資料の蓄積も行っていく必要があると考えられる.

(Received September 10, 2021)

EXPERIMENTAL STUDY ON FLEXURAL AND SHEAR BEHAVIOR OF CIRCULAR CFT COLUMNS UNDER MULTI CYCLIC LATERAL LOADING

Shunya HISAJIMA, Masae KIDO and Shinji ABE

At present, there are concerns about the impact of the Nankai Trough megathrust earthquake on super high-rise buildings with long natural period, and it is necessary to establish a safety evaluation method for CFT columns subjected to cyclic horizontal forces repeatedly. The purpose of this study is to clarify the structural performance of circular CFT columns with effective length- section depth ratio $l_k/D=14$ subjected to cyclic loading with constant or variable displacement amplitude under constant axial loads. The relationship between the lateral load and rotation angle is presented as representing the basic structural performance of the CFT columns and the strength deterioration behaviors are examined.