論文 変動軸力を受ける SRC 柱部材の変形性能に関する実験的研究

片寄 哲務*1, 土井 希祐*2

要旨:十字形鉄骨を内蔵したSRC柱部材が,水平力に比例した軸力変動と斜め横力を受ける場合,および一定軸力と斜め横力を受ける場合の静加力実験を行い,変形性能とエネ ルギー吸収性能に及ぼす軸力変動の影響について比較検討した。本実験においては,変動 軸力試験体と一定軸力試験体で,軸変形,鋼材の歪性状等について差異が認められた。し かし,双方とも,部材角R=4×10⁻²rad.の繰り返し時においても安定した紡錘形の履歴ルー プを示し,部材角R=10×10⁻² rad. 近い大変形においても最大耐力の約80%の耐力を維持 しており,大きな変形性能とエネルギー吸収性能を有することが確認された。 **キーワード**:SRC部材,十字形鉄骨,変動軸力,斜め横力,変形性能,エネルギー吸収性能

1. はじめに

鉄骨鉄筋コンクリート(以下SRCと表記) 構造は、耐震性に優れた構造形式として、わが 国においては、中高層建物に広く採用されてき ている。しかし、1995年兵庫県南部地震により、 初めて深刻な被害を受けた。充腹形鉄骨を内蔵 したSRC造建物においては,転倒曲げによる引 張に起因した継手部および柱脚部の被害が多く 見られたが,一部に母材破断の被害も報告されて いる"。一般的に、SRC造建物は高層であり、 地震時において下層階の柱は大きな変動軸力を 受ける。既往の実験研究により、SRC柱部材 の耐力・変形性能について、その特性が明らか にされてきている。しかし、これらの実験研究 の殆どは、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少ない。特に、 十字形鉄骨を内蔵したSRC柱部材については, 浅川等²⁾,および今野等³⁾の研究があるものの, 極めて少ないのが現状である。著者等も、十字 形鉄骨を内蔵するSRC柱部材が変動軸力を受 ける場合の静加力実験を行い、その変形性能お よびエネルギー吸収性能について、基礎的デー タを得るとともに,一定軸力を受ける場合との

比較検討をおこなった²⁾。本研究においては, 既報に引き続いて、十字形鉄骨を内蔵するSR C部材が,変動軸力と斜め横力を受ける場合の 静加力実験を行い、より現実に近い荷重条件に おける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と共に、一定軸力を受け る場合との比較検討を行うことを目的としてい る。ところで、十字形鉄骨を内蔵するSRC柱 部材は内柱に使用されることが多く、外柱には T字形, 隅柱にはL字形等の非対称断面鉄骨が 用いられることが多い。しかし、本研究におい ては、変動軸力の影響に焦点を絞り、その影響 を調べることを目指した。また、ピロティーの 上層階に耐震壁が存在する場合は内柱であって も大きな変動軸力を受けることになる。これら のことから、十字形鉄骨を用いた対称断面SR C柱部材を実験の対象とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の形状寸法を図-1に示す。試験体は高 層建築物の下層階の柱を想定し、実構造物の1/ 4~1/5の縮小モデルとし、同一形状のものを2

*1 新潟大学大学院 自然科学研究科環境システム科学専攻(正会員)

*2 新潟大学助教授 工学部建設学科 工博(正会員)

体製作した。柱部には十字形鉄骨(2H-125 ×60×6×8)を内蔵している。また,上下の 加カスタブにはH形鋼を内蔵している。鋼 材は,鉄骨がSS400,鉄筋がSD295である。 コンクリートは,設計基準強度21N/mm²,粗 骨材の最大粒径15mmの普通コンクリートと した。(**表-1**参照),使用材料の力学的性質を **表-2(a)**,および(**b**)に示す。

2.2 載荷方法

図-2に加力装置を示す。①の980kN圧縮油 圧ジャッキにより試験体柱部に圧縮軸力を 作用させる。次に、②の294kN圧縮引張油圧 ジャッキにより、試験体上部の加力スタブ を水平に保持すると共に、試験体柱部に引 張軸力を作用させる。さらに、③の490kN 圧縮引張油圧ジャッキにより試験体柱部に 水平力を作用させる。本実験においては試 験体左右の2本の油圧ジャッキ②により試 験体上部の加力スタブを水平に保持し、油 圧ジャッキ①および②により試験体柱部に 所定軸力を作用させ、③の油圧ジャッキに より漸増振幅交番繰り返し水平力を作用さ せた。また、水平力は、図-1に示すように 断面の主軸と45°をなす方向に作用させた。

試験体No.3には、地震時における柱降伏 型骨組の下層階柱を想定し、かつ手動式油 Eポンプの制御性能を勘案して、(1)式、 および図-3に示すような変動軸力を作用さ せた。すなわち、累加圧縮耐力の10%の長 期軸力に相当する圧縮軸力210kNに加えて、 圧縮側の最大耐力時においては累加圧縮耐 力の30%の圧縮軸力630kN、引張側の最大 耐力時においては、累加圧縮耐力の10%の 引張軸力210kNとなるような、水平力に比例 した変動軸力を作用させた。

N=210+2.68×H(kN) (1) ここに、N:軸力、H:水平力である。 一方,試験体No.4には、軸力比0.3に相当

する N=630kNの一定軸力を作用させた。



図-1 試験体



設計基	スランプ	粗骨材	空気量	単位水量	水セメ	細骨材率
準強度		最大寸法			ント比	
(MPa)	(cm)	(mm)	(%)	(kg/m3)	(%)	(%)
21	18	15	4	179	58.5	51.5

表-2(a) 鋼材試験結果							
	插粨	降伏点	引張強さ	ヤング係数	備去		
	作主大只	(MPa)	(MPa)	(GPa)			
鉄骨	PL8	309	427	194	フランシ		
	PL6	377	463	196	<u>ウェフ</u>		
斜纹	D13	364	510	185	主筋		
<u></u>	D6	326	519	148	帯筋		

表-2(b) コンクリート試験結果							
⇒ 時/★	圧縮強度	引張強度	ヤング係数	材齢			
百八 与火 1 个	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(日)			
No. 1	26.6	2.53	26. 8	33			
No. 2	26.4	3. 23	20. 7	44			
平均	26.5	2.88	23. 8	1			



水平力の載荷履歴を**表-3**に示す。部材角R = 5, 10, 15, 20, 40×10⁻³rad. で正負繰り返し 載荷を各々2回ずつ行った後,正方向に加力装 置の限界まで載荷した。

2.3 測定方法

試験体柱部の変形を、図-4に示す位置に取り 付けた電気式変位計により測定した。上下加力 スタブに取り付けた測定治具を介して、変位計 1,2により全体水平変形を、変位計3,4に より軸変形を各々測定した。さらに、全体水平 変形、および軸変形を柱部の内法高さ(800mm) で除して、部材角および軸歪を各々求めた。 また、変位計5~16により測定した柱部各領域 の軸方向変形から各領域の曲率を計算し、柱部 の曲げ変形を求めた。さらに、鉄骨、および鉄 筋に貼付した歪ゲージにより鋼材の歪を測定し た。

3.実験結果および考察

3.1 破壊性状

実験により得られたひび割れ発生荷重、最 大耐力等をまとめて表-4に示す。なお、表-4 中の荷重にはP-Δ効果を考慮していない。 また,修正加藤称原式^{5).6)},および建築学会 SRC計算規準"による断面の主軸方向の終 局耐力の計算値を表-5に示す。試験体No.3は, ±1サイクルで曲げひび割れ,およびせん断 付着ひび割れが発生し、+9サイクルでコン クリートが圧壊して最大耐力に達した。一 方, 試験体No.4は, -1サイクルで曲げひび 割れが、±2サイクルでせん断付着ひび割れ が発生し、-6~+7サイクルにおいてコン クリートが圧壊し最大耐力に達した。最大耐 力時の変形は、試験体No.3の方が試験体No.4 より大きく、特に負加力側においては、部材 角 R = 4×10^{-2} radにおいても耐力上昇が続 いていた。また、両試験体ともに、最大耐力 は,修正加藤称原式,および建築学会SRC 計算規準による断面主軸方向の終局耐力の計



図-3 水平力-軸力関係(試験体No.3)



図-4 変形測定方法

_	-	
_	-	
	_ <	
	,	
	_	

サイクル(回)	±1	±2	±3	±4	±5
全体変形 δv (mm)	4	4	8	8	12
部材角R(×10 ⁻³ rad)	5	5	10	10	15
サイクル(回)	±6	±7	±8	±9	±10
全体変形 Sv (mm)	12	16	16	32	32
部材角R(×10 ⁻³ rad)	15	20	20	40	40

表-4 各種荷重・変形等の実験結果

		No. 3			No. 4		
		荷重	変形		荷重	变形	
		(kN)	(×10 ⁻² rad)		(kN)	(×10 ⁻² rad)	
曲げ	E	107	0.50	(+1)	118	0.50	(+2)
ひび割れ	負	-87.2	-0.50	(-1)	-108	-0.50	(-1)
せん断付着	Ы	107	0.50	(+1)	118	0.50	(+2)
ひび割れ	負	-87.2	-0.50	(-1)	-101	-0.50	(-2)
コンクリート	Ħ	176	4.00	(+9)	177	-2.01	(+7)
圧壊	負	-	-	-	-162	<u>-1.50</u>	(-6)
=+=+=++++	Ħ	181	3. 24	(+9)	179	2.26	(+9)
	負	-174	-4.00	(-9)	-175	-2.01	(-7)
限界	IE	145	7. <u>9</u> 8	-	-	-	-
<u>変形点</u>	負	-	-	-	-	-	-

注1) 限界変形点:最大耐力の80%まで耐力が低下した点

-663 -

算耐力を上回っている。なお,耐力計算 は,危険断面が柱端にあるものとして行って いる。

図-5に±10サイクル終了時におけるひび割 れ状況を示す。図-5において,黒く塗りつぶ した部分はコンクリート剥落箇所を示してい る。試験体No.4は,せん断付着ひび割れが支 配的である。試験体No.3では,負加力時と比 較して正加力時のひび割れが顕著である。一 方,試験体No.4では,正加力時と負加力時の ひび割れ状況の差異は見られない。また,試 験体No.3と比較して,ひび割れ発生数が多く 材端部コンクリートの圧壊が顕著であった。 これは,試験体No.4が,負加力時において, 試験体No.3より厳しい圧縮軸力を受けるから であると考えられる。

3.2 荷重一変形性状

図-6に, ±1サイクルにおける水平力-部 材角関係を示す。正加力側における初期剛性 には大きな差異は認められない。一方, 負加 力側における初期剛性は, 試験体No.3の方が 試験体No.4と比較して小さくなっている。こ れは, 試験体No.3の負加力側における軸力が 試験体No.4と比較して大幅に低いことが影響 しているものと考えられる。

図-7に,水平力-部材角関係を示す。試験 体No.3は,試験体No.4と比較して,若干逆S 字形の履歴ループを示しており,±10サイク ル(R=4×10⁻² rad.)までの全ての繰り返



表-5 終局耐力計算値

		修正加藤称原式	SRC規準式
		(KN)	(KN)
No. 3	ΤĒ	159	158
(変動軸力)	負	-139	-153
No. 4		159	158
(一疋軸刀)			





No.3(変動軸力) 図-5 ひび割れ状況 (±10サイクル終了時)



(a) No. 3 (変動軸力) (b) No. 4 (一定軸力) 図-6 水平力-部材角関係(±1サイクル)

しにおいて,負加力側の履歴ループ面 積が正加力側と比較して小さくなって いる。これは,試験体No.3では,負加 力側の水平力が100kNを越える領域にお いて引張軸力を受けるため(図-3参照), 試験体No.4と比較して,加力スタブか らの鋼材の抜け出しの影響が大きいこ とが影響しているものと考えられる。

最大耐力以後の耐力低下については 試験体No.3と試験体No.4に大差はなく 最終状態においても最大耐力の約80% の耐力を維持しており,共に大きな変 形性能を示した(図-7参照)。これは, 試験体No.3,試験体No.4共に,正加力 側の部材角 R=4×10⁻² rad. を超える範 囲において,軸力条件がほぼ同一とな っていたためであると考えられる。

図-8に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heqを示す。試験体No.3, No.4共に等価粘 性減衰定数は部材角Rに比例して直線的に増加し ている。しかし,試験体No.3は,試験体No.4と 比較して等価粘性減衰定数が若干小さくなって いる。これは,前述のように,試験体No.3にお いては,軸力が引張となる負加力側の履歴ルー プ面積が,試験体No.4と比較して小さいことに 対応している。

図-9に、水平カー曲げ変形角関係を示す。曲 げ変形角とは、試験体柱部の曲げ変形により生 じる部材角のことである。試験体No.3, No.4共 に、曲げ変形は全体変形の約60%を占めており、 特に差異は認められない(図-7および9参照)。ま た、図-7に示した水平カー部材角関係と同様に、 負加力側の履歴ループ面積が正加力側と比較し て小さくなっている。

図-10に軸歪-部材角関係を示す。試験体 No. 3においては、±8サイクル(R=2×10⁻² rad) までは、軸変形の累積は認められないが、±9 ~10サイクル(R=4×10⁻² rad.)の部材角R =-2×10⁻² ~3×10⁻² rad.において軸変形が引張



側へと変化しているのが認められる。一方,試 験体No.4においては,±8サイクル(R=2×1 0^{-2} rad.)までの段階においても若干の圧縮変 形の累積が認められ,±9サイクル以降,その 傾向が顕著となっている。これは,試験体No.4 において材端部コンクリートの圧壊が顕著であ ったことと対応している。

3.3 歪性状

図-11に上下柱端のAおよびB断面における歪 分布を示す。主筋は±5サイクル(R=1.5×1 0^{-2} rad.)において,ほぼ降伏している。また, 鉄骨フランジは±7サイクル(R=2×10⁻²rad) において,降伏が始まっている。このことと, 材端部の圧縮側コンクリートの圧壊から,試験 体No.3, No.4ともに曲げ降伏していると考えら れる。試験体No.4においては+9サイクル(R =4×10⁻² rad.)以降,鋼材の軸方向圧縮歪の 累積が顕著であり,軸方向縮みの累積傾向と対 応している。試験体No.3においても,-9サイ クルにおいて同様の傾向が認められる。



図-12に、試験体下部C点における帯筋の歪-部材角関係を示す。試験体No.3、No.4ともに、 ±9サイクル(R=4×10⁻² rad.)以降引張歪 の増大と累積傾向が認められる。引張歪の大き さは、試験体No.4の方が大きく、-9サイクル において引張降伏が認められた。このことは、 試験体No.4の方が試験体No.3よりせん断付着ひ び割れが顕著であったことと対応している。

4. 結論

地震時における高層建物の下層階柱を想定し た、変動軸力および一定軸力の下で斜め横力を 受ける、十字形鉄骨を内蔵したSRC柱部材の 静加力実験を行った。本実験において、変動軸 力を受ける場合は、一定軸力を受ける場合と比 較して、荷重一変形関係の履歴ループ面積が、 負加力側において小さくなっているが、等価粘 性減衰定数はほぼ同じ値となった。また、軸変 形、鋼材の歪性状についても差異が認められた。 しかし、双方とも、部材角R=4×10⁻² rad.の繰 り返し時においても安定した紡錘形の履歴ルー プを示し、部材角R=10×10⁻² rad. に近い大変 形においても最大耐力の約80%の耐力を維持し ており、大きなエネルギー吸収性能と変形性能 を有することが確認された。



参考文献

- 日本建築学会阪神・淡路大震災調査報告編集 委員会:阪神・淡路大震災調査報告建築編 -2,丸善,1998年8月
- 2)浅川敏雄他:ピロティーを有する壁式プレキ ャスト構造の水平加力実験(その5:変動軸 力を受けるSRC柱の部材実験),日本建築学 会大会学術講演梗概集,構造Ⅱ,pp.479~480, 1994年9月
- 3) 今野修他:超高層建物における下層階へのS RC構造適用に関する実験的研究 その1~
 2,日本建築学会大会学術講演梗概集,構造 Ⅲ,pp.1029~1032,1998年9月
- 4) 土井希祐,片寄哲務,今泉晶宏:変動軸力を
 受けるSRC柱部材の静加力実験,鋼構造年
 次論文報告集,第8巻,pp517-524,2000年
- 5) 土井希祐他: SRC部材の終局耐力式に関す る研究, その1~2, 日本建築学会学術講演 梗概集, pp1653~pp1656, 1993年9月
- 6) 土井希祐,称原良一:塑性理論に基づいたS
 R C 部材のせん断設計式の検討,日本建築学
 会構造系論文集,第516号,pp.151~158,19
 99年2月
- 7)日本建築学会:鉄骨鉄筋コンクリート構造計 算規準・同解説,1987年6月